

東大原施トリプレットライナックの現状 2002

上坂 充^{1,A)}、渡部 貴宏^{A)}、上田 徹^{A)}、吉井 康司^{A)}、細貝 知直^{A)}、
土橋 克弘^{B)}、飯島 北斗^{B)}、木下 健一^{B)}、室屋 裕佐^{A)}、勝村 庸介^{A)}

^{A)}東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設

〒319-1188 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-22

^{B)}放射線医学総合研究所

〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1

概要

Sバンド Mg カソード RF ガン (SPring8 らと共同) が立ち上がり、詳細ビーム計測 / 放射線化学実験を行っている。ここまで最高 4nC / バンチで、QE は表面が酸化しているため銅同等である。年度内にレーザークリーニング実施し、QE=10⁻³ を達成する。建屋空調を更新し常時 1 以内となり、すべて特にレーザーが安定した。12TW50fs レーザーを使ったレーザープラズマライナックでは、40MeV 電子ビーム、数百 keV Ti イオン、8keV X 線 10⁸ 光子 / ショット、THz 光を発生させ、部分的に利用実験に供している。医療用先進小型加速器開発プロジェクトでは、X バンドライナックベースコンプトン散乱硬 X 線源の開発が進んでいる。RF ガン、加速器が作製された。

1 . 平成 14 年度共同利用

平成 14 年度は新規テーマ 4 テーマを含む合計 10 の共同利用テーマが採択された。本年度の特徴としては、テラワットレーザー装置を用いた実験テーマが 6 テーマ含まれていることである。表 1 にテーマ一覧を示す。

表 1 平成 14 年度共同利用テーマ一覧

	テーマ名	代表者
1	水溶液の放射線効果の研究	勝村庸介 (東京大学)
2	ポンプ&プローブ法を用いる超高速反応の研究	勝村庸介 (東京大学)
3	天然高分子材料等の放射線化学反応機構と表面加工	工藤久明 (東京大学)
4	アルミナ蛍光板の発光特性の測定	中沢正治 (東京大学)
5	放射線の高分子材料への応用	山下 俊 (東京理科大)
6	高速応答シンチレータの開発と性能評価	浅井圭介 (東京大学)
7	レーザープラズマ	上坂 充

	マルチビーム研究	(東京大学)
8	フェムト秒 X 線回折	上坂 充 (東京大学)
9	テラヘルツ電磁波強度の励起光強度依存性	猿倉信彦 (分子研)
10	超短パルスレーザーによるイオン発生とその位相空間回転	野田 章 (京都大学)

2 . MG カソード RF ガン

本年度 4 月エージングを終えた Mg フォトカソード RF ガンは、そのビームテストを 5 月におこなった。詳細は[1,2]を参照されたい。その他は、レーザーと電子ビームの同期精度の向上を目的として施設の空調設備の改善を行った。同期精度の実験は現在進行中である。



図 1 : ライナックと RF ガン

3 . 電子バンチ波形評価

現在研究が進んでいる Mg カソード RF ガンおよびプラズマカソードによる極短電子パルス発生に備え、フェムト秒ストリークカメラに代わる高時間分解能計測手法の開発を行ってきた。現在は、インコヒーレント放射の揺らぎからパルス幅を導出する手法

¹ E-mail: Uesaka@tokai.t.u-tokyo.ac.jp

(フラクチュエーション法)の研究を行っている。特に、電子パルスの横方向エミッタンスが計測に与える影響について注目し、3次元数値計算コードを開発し評価した。また、今までコヒーレント放射を用いた計測手法(干渉・分光法)も研究してきた。我々はコヒーレント放射およびインコヒーレント放射を用いた計測法を共通の理論体系の中で説明すべく、その理論体系をまとめた。詳細は[3]を参照。

4. パルスラジオリシス

今回の Mg カソード導入に伴い、システム再構築および改善を行った。ポンプ&プローブ方式においては、試料に電子パルス(ポンプ)を照射し瞬間的に現象を開始させ、これと同期制御されたフェムト秒レーザー(プローブ)により、ある時間での現象を瞬間的に分光測定する。本装置では、0.3TW Ti:Sa レーザーをビームスプリッターで分岐し、一つはフォトカソードへ入力し電子パルス生成に用い、残りを分析パルス光に用いる。初めにフォトカソード試験、ビーム輸送実験を行い、その結果ビーム出口にて $>1\text{nC}/\text{bunch}$, $D\sim 1\text{mm}$ (rms)の電子ビームが得られた^[4]。カソード交換により輸送効率が著しく向上し、従来の倍以上の電荷量が得られた。図2に、この電子ビームを用いてパルスラジオリシスを行った結果を示す。試料は超純水で、Ar 脱気し 5mm 石英セルに封じたものを用いた。測定波長は Ti:Sa レーザの基本波長 795nm で、図は H_2O の放射線分解反応により生成する水和電子の時間挙動を示す。水和電子の生成時間は 1ps 以下と考えられており、約 9ps の吸収立ち上がりは時間分解能であり、従来の 12ps を上回る結果を得た。現時点で時間分解能を決める要因は主に、電子ビームのパルス幅($\sim 5\text{ps}$ (FWHM))と、電子ビームとレーザーの試料中での速度差に起因する通過時間差(5mm セルで 5ps)の2点であると考えられる。今後これを低減することが必要であり、今回行っていない 1nC 以上の高電荷ビームに対する磁気パルス圧縮実験、より短いセルを用いたパルスラジオリシス等を行いたいと考えている。

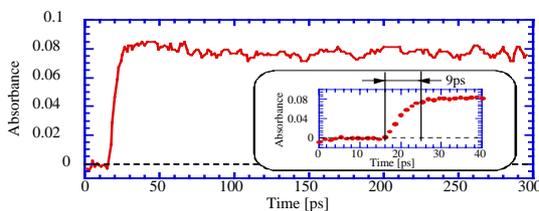


図2：MgカソードRFガンシステムで測定した水和電子の時間挙動(795nm)

5. レーザープラズマカソード

超短パルス高強度レーザープラズマ相互作用を用いて 100fs 以下のパルス幅を持つ相対論的(数十 MeV)電子シングルバンチを生成するプラズマカソ

ドの研究を進めている。臨界密度未満の低密度プラズマ中に入射された超短パルス高強度レーザーの後ろにはレーザーパルスのポンデロモティブ力によって大振幅のプラズマ波(航跡場)が励起される。プラズマ中の電子はこの非線形プラズマ波中に捕獲されプラズマ波の破碎とともに加速されプラズマより放出される。このプラズマ波破碎による電子加速のスキームでは励起されるプラズマ波の波長は(密度 $10^{18}\sim 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ に対して) $10\sim 100\text{ }\mu\text{m}$ 程度であり、したがって加速される電子の軸方向のバンチ長はフェムト秒オーダーの超短パルスになることが期待される^[5-6]。図3に実験の概略を示す。真空容器中で、チタンサファイアレーザー(波長 800nm、最大出力

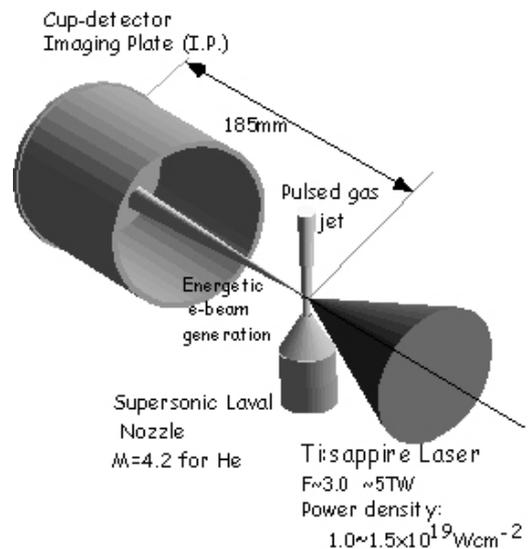


図3：プラズマカソード実験の概略

12TW-50fs)を集光密度 $1\sim 2\times 10^{19}\text{ Wcm}^{-2}$ で、パルス駆動超音速ヘリウムガスジェットに集光した。プラズマ波破碎による電子加速のスキームではエッジに急峻な密度勾配を持ち内部は均一な密度分布のガスターゲットが必要となるため円筒型衝撃波フリー超音速急膨張ノズルを採用した。ノズルは出口内径を 2mm とし、出口におけるマッハ数が $M=4.2$ となるように設計した。電子発生に用いた典型的なガス密度はノズル出口で $\sim 3\times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ (リザーバ圧力 20気圧)であった。プラズマからの電子発生の空間分布をイメージングプレート(I.P.)を円筒状に真空容器内部に設置することにより計測した。また、I.P.のイメージ上の電子を X 線の信号と分離するため、さらに電子ビームのエネルギースペクトルを得るために永久磁石(ネオマックス)による電子偏向器(中心磁場 $\sim 0.3\text{ T}$)をレーザー軸上のジェット後方に設置した。図4に典型的な実験結果を示す。真空容器内部の電子発生方向に円筒状に設置したイメージングプレートの展開図である。濃淡は電子の放射に対応している。円筒底面の I.P 上に見られるようにレーザーと同軸の進行方向に鋭い指向性を持つ(立体角 ~ 2 度)高エネルギー(最大 $\sim 40\text{ MeV}$:検出器の限界)の電子ビームが発生し、プラズマからおおよそ前方30度

の斜め方向に低エネルギー（～数百 keV）の電子放射が発生していることが観測された。さらにこの電子ビームの発生はレーザープレパルスの作るプレプラズマの条件に大きく依存していることが確かめられた。

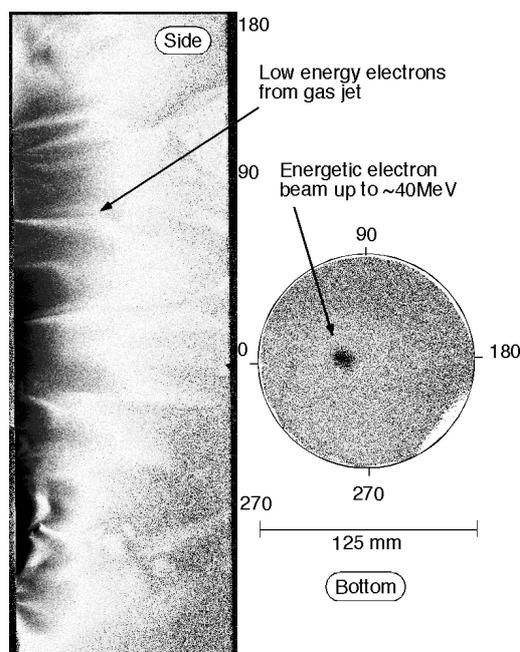


図4：円筒状イメージングプレートで得られた電子放射の様子。（ガス密度 $2.1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、レーザー強度 3TW）

6. レーザープラズマイオン発生

小型イオンシンクロトロンへの入射系として用いるためにレーザープラズマイオン源の開発を行っている。この際、取り出すイオンビームの種類に対応したレーザーターゲットの最適化が課題であり、金属薄膜やプラスチック薄膜の他、固体あるいは各種のプラズマ等からのイオン発生に関するデータ取得および連続照射機構のモデル開発が必要となる。東大12TWレーザーを用いてレーザープラズマイオン発生実験を行った。軸外し放物面鏡によってTi、Al、ポリエチレン等の薄膜標的にレーザーを集光し、発生したイオンをCR-39を用いて検出する。集光強度は約 $3 \times 10^{18} \text{ W/cm}^2$ である。発生イオン数は前方に $10^5 \sim 10^6 \text{ sr}^{-1}\text{shot}^{-1}$ 程度、後方に $10^6 \sim 10^7 \text{ sr}^{-1}\text{shot}^{-1}$ 程度となった。発生イオンを陽子とした場合の最大粒子エネルギーは～100keVであった。レーザーのプリパルスによる薄膜標的の破壊あるいはプリプラズマの発生が問題となっている。

7. Xバンド逆コンプトン散乱硬X線源

文部科学省先進小型加速器開発プロジェクト(取りまとめ放射線医学総合研究所)に参画し、静脈注射による冠状動脈動的血管造影(IVCAG)のための、X-band linac を用いたレーザー電子ビーム衝突による小型硬X線源を開発中である。本研究の最終目標は、従来の血管造影(CAG)装置に代わるレーザー電子衝突によるIVCAG用硬X線源である。Xバンド加速器とレーザーを大型のアームに収め、患者のいろいろな角度からX線を照射できるようにする。電源を含めた装置全体で5mx3mに収まる一体型のIVCAG装置を、5年後をめどに開発し、普及を図りたい^[7]。

8. 今年度中の展開

MgカソードRFガンに関しては、レーザークリーニング技術を習得し、QE 10^{-3} を達成して、銅カソードの最高電荷量7nCを更新したい。また銅カソードによる電荷量をはるかに小さいレーザーエネルギーで低エミッタンスビームを安定に実現したい。レーザープラズマカソードはプリプラズマ問題を解決して、安定な40MeV電子ビーム発生とビームパルス幅を評価したい。Xバンド逆コンプトン散乱硬X線源については熱RFガン、加速管、RF源を製作しながら、装置本体を稼動アームに搭載できるシステムの設計を完了させたい。

謝辞

SPring8(JASRI)、KEK、早大、BNL、原研関西研、京大化研、広大および共同開発参画企業の方々の研究協力に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] H.Iijima, et al., 本 Proceedings 中.
- [2] H. Iijima, et al., "High charge Mg photocathode RF gun in S-band linac at University of Tokyo", Proc. of EPAC2002.
- [3] T.Watanabe, et al.,本 Proceedings 中.
- [4] Y. Muroya, M. Uesaka, Y. Katsumura et al., "Ultra-fast pulse radiolysis system combined with a laser photocathode RF gun and a femtosecond laser", Nucl. Instr. and Meth. A, in press.
- [5] N. Hafz, M. Uesaka, J. Koga, and K. Nakajima, "Numerical analysis of 10's femtosecond relativistic electron beam generation using single 12 TW 50fs laser pulse", NIM. A, 455, 148 (2000)
- [6] S. Bulanov, N. Naumova, F. Pegoraro, and J.Sakai, "Particle injection into the wave acceleration phase due to nonlinear wake wave breaking", Phys. Rev. E, 58, R5257 (1998)
- [7] K.Dobashi, et al., 本 Proceedings 中.