

UTNL Quad linac 2004

M. Uesaka^{1,A)}, H. Iijima^{A)}, A. Sakumi^{A)}, T. Ueda^{A)}, T. Hosokai^{A)}, T. Sukegawa^{A)}, K. Yoshii^{A)}, A. Fukasawa^{A)},
T. Ohkubo^{A)}, F. Sakamoto^{A)}, Y. Muroya^{A)}, H. Kudo^{A)}, Y. Katsumura^{A)}, K. Dobashi^{B)}, K. Kinoshita^{B)}, A. Zhidkov^{B)}

^{A)} Nuclear Engineering Research Laboratory, School of Engineering, University of Tokyo

2-22 Shirane-shirakata, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1188

^{B)} National Institute of Radiological Sciences

4-9-1, Anagawa, Inage-ku, Chiba-shi, 263-8555

Abstract

Mg cathode RF gun of SPring8 is stably working for three years with QE of $1.3E^{-4}$, emission of 1-3 nC and emittance of $\sim 20\pi\text{mm.mrad}$. It is successfully applied to picosecond pulseradilysis. Two new rooms for the laser plasma beam source by 12 TW 50 fs laser and the X-band medical Compton scattering X-ray source are fully set. Upgrade of the laser beam quality by the spatial filter and plasma mirror is under way. Stability of the output pulse voltage of the X-band RF modulator with 5pps, 430kV is less than 0.1% in rms. We plan to construct and test the whole system of X-band linac and laser in this fiscal year and to generate the tunable monochromatic hard X-rays in next April.

東大原施クワッドライナック現状報告2004

1. はじめに

東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設（東大工原施）では、ピコ秒・フェムト秒電子ビーム発生装置として、Sバンドライナック2台に、12TW50fsレーザーによるレーザープラズマライナック、及び医療用Xバンドライナックが加わり、計4台の装置がある。Sバンドツインライナックでは、共同研究として、すでに超臨界圧水の放射線化学実験、MgカソードRFガンを用いたVelocity Bunchingの実験が成果を出している。レーザープラズマライナックは、施設内のブランケット研究棟に移転・設置され、労働基準監督署に放射線源の届出も完了した。Xバンドライナックはクライストロン電源に $\pm 0.1\%$ 程度の安定性があることがわかった。ここでは共同利用状況、各システムでの研究のハイライトをまとめる。

2. 共同利用状況

平成16年度は新規課題1つを含む合計9個の共同利用課題が採択された。内、ビーム物理系3件、利用系6件である。表1に課題一覧を示す。また高温・超臨海溶媒の放射線化学L-09が新たに採択された。

3. Sバンドツインライナック

3.1 放射線化学実験

東大S-bandツインライナックでは、これまで同様、ピコ秒・サブピコ秒時間領域の放射線化学実験に用

表1:平成16年度共同利用課題一覧

採番	テーマ名	代表者
L-01	水溶液の放射線効果の研究	勝村庸介 (東京大学)
L-02	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)
L-03	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)
L-04	アルミナ蛍光板の発光特性の測定	中沢正治 (東京大学)
L-05	放射線の高分子材料への応用	山下俊 (東京理科大)
L-06	高速応答シンチレーターの開発と性能評価	浅井圭介 (東京大学)
L-07	Mgフォトカソード電子銃による極短パルスの研究	上坂充 (東京大学)
L-08	医療用小型加速器要素技術試験	浦川順治 (高工ネ研)
L-09	高温・超臨海溶媒の放射線化学	勝村庸介 (東京大学)

いられるとともに、最近本格的に医療用小型加速器要素技術開発のための利用が行われるようになった。水に対する吸収の立ち上がりは7psを達成した^[1]。本来、理論的には1ps以下の立ち上がりになるはずで、これが我々の装置の総時間分解能となる。昨年までの結果である12psからの改善の理由は、主に、安定した高電化量生成の成功にある。これまで1nC/bunchであったものが、運転パラメータの改善によりおおよそ2nC/bunchまで引き上げることがで

¹ E-mail: uesaka@utnl.jp

きた。このことによりターゲットセルの厚さを薄くすることができ、分解能改善につながったのである。

3.2 ライナックの同期安定性

一方、7psという時間分解能をさらに改善させようとした場合、現在最も問題なのはポンプビームとプローブレーザーの時間同期安定性である。これまで、この同期には数分程度で揺らぐジッター成分と長周期（1時間程度）で揺らぐドリフト成分があることが分かっていた。本年度詳細な測定の結果、このドリフトがレーザー室の温度変化の周期と一致していることが分かった^[2]。図1は横軸に時間をとり、レーザー室の温度と同期の変化をプロットしたものである。同期の変化の周期は完全にレーザー室の温度変化の周期に一致している。レーザー室の温度変化は空調のON・OFFによって生じ、また、そのタイミングは外気温に強く左右される。このため外気温が高くレーザー室の空調がON状態を保てば、結果温度変化はほとんど生じず、安定な同期を得られる。これの本質的な改善方法は空調の改良であろうが、現在でも温度の揺らぎ幅は0.5と非常に小さくこれ以上の改善はかなり大掛かりなものになると思われる。そこで現在、同期に対するフィードバックシステムを検討している。

3.3 医療用小型加速器要素開発

医療用小型加速器要素開発としては、主に2つのことを行っている。1つは小型癌治療器のX線発生部の開発を目的とした、薄膜金属ターゲットからのX線発生測定で、これはAET Japanとの共同研究である。また、開始されたばかりであるが、これまでバックグランドとなる金属からのX線発生の測定を行っている。もう1つは医療用X-band加速器のための実験でOTRを用いた高空間分解能ビームモニターの開発である。これまでに設計、組立を終え、18Lに組み込み基礎実験を行った。図2,3はそれぞれ

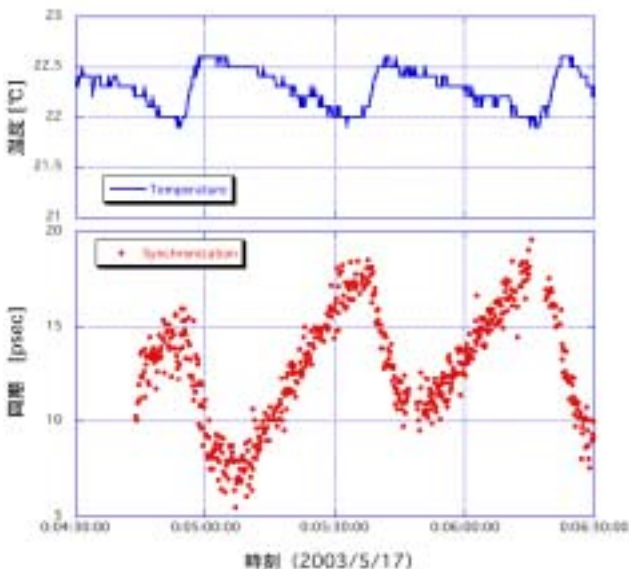


図1 レーザー室の温度変化(上)と同期(下)^[2]

OTRの発光とそのプロファイルを表したものである。図中ではビームのエネルギー及びエミッタンスを測定するためにリング形状を図っている。18Lは現在構築中のX-bandライナックよりもビームエネルギーが低い。しかしながら今回の実験でビームプロファイルを測定すると共に（現在、おおよそ100 μm の分解能を確認）、低エネルギービームに対してもエネルギー・エミッタンスの測定が可能であることを確認した。

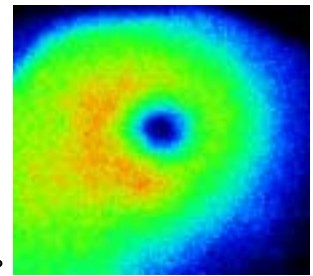


図2 OTR発光角度分布

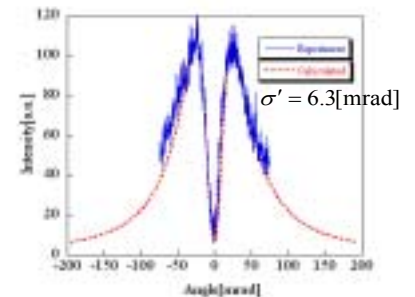


図3 Vertical投影図

4. レーザープラズマライナック

レーザープラズマ相互作用によって高エネルギー、短パルス、低エミッタンス、単色な高品質電子ビームを生成する安定でコンパクトなレーザープラズマ加速器を実現するために、東大12TWレーザーを用いてレーザープラズマカソードの研究を行っている。本方式はレーザー単一パルスを用いるため最も簡素であり他の2パルス、3パルスを使用する手法と比べて実現とコンパクト化が容易であると考えられる^[3]。この機構によって励起されるプラズマ波の加速勾配は $\sim 100\text{GV/m}$ にも及び、プラズマ波長は（プラズマ密度 $10^{18} \sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ に対して） $10 \sim 100 \mu\text{m}$ 程度になる。したがって、プラズマ中で捕獲加速される電子は加速長が $\sim 100 \mu\text{m}$ 程度であっても数十MeV以上のエネルギーまで加速され、軸方向にはフェムト秒オーダーの超短パルスパンチ長を持つと期待される。これまでにレーザープラズマ相互作用によるプレパルスの寄与に着目して研究を進め、世界に先駆けて高エネルギー電子ビームの発生機構におけるレーザープレパルスの寄与を明らかにし、指向性の良い電子ビームの発生に成功している^[4,5]。

レーザープラズマ電子源の現在の課題は安定性とビーム品質の向上である。高強度レーザーとプラズマとの相互作用は不安定性の強いVASEに起因するレーザープリパルスに強く依存する。そのためプリパルスの制御と最適化が必要となる。高強度フェムト秒レーザーのナノ秒コントラストを改善するために薄膜プラズマフィルターによるレーザーシャッターの開発を行っている^[6]。本手法では薄膜上にプリパルスによって生成されたプラズマをプリパルス

の吸収体として用いる。初期プラズマ密度は臨界密度を超えているためレーザーはプラズマ中を伝播できない。その後プラズマの3次元的な急膨張によって密度が臨界密度より下がるため、メインパルスがこの膨張後にプラズマに到達すれば消耗を抑えてメインパルスを透過させる事が可能である。また、発生電子ビームの単色性を向上するために、空間フィルターを用いたレーザー波面整形^[7]、高速キャピラリー放電^[8]を用いたプラズマ光導波路の構築も進めている。これはプラズマカソードから発生した電子パンチのエネルギー分散を、より長いプラズマ波長を持つ導波路中でcmオーダーの長距離追加速を行うことで低減させる物である。また、発生する電子ビームのパルス幅が数十フェムト秒程度の極短パルスであることから、対向してフェムト秒レーザーパルスを衝突させることでジッターレスに極短X線パルスに変換させることができる。これによって互いに高精度で同期した極短電子パルス、レーザーパルス、X線パルスが得られ、フェムト秒オーダーの高時間分解能を有したポンププローブシステムが可能となる。プラズマカソードから発生するフェムト秒電子ビームを計測するためにコヒーレント遷移放射光を用いたパルス長計測を行う予定である。

5. Xバンドライナック

我々は、経静脈動的冠状動脈造影 (Dynamic IVCAG)、生命科学応用などさまざまな用途が考えられる高品質の硬X線源をより小型化する、Xバンドライナックを用いたレーザー電子ビーム衝突による小型硬X線源を開発中であり、X線強度109photons/s(但し後述のレーザーサーキュレーションを採用した場合)を目指す。

15年度までに、大強度XバンドRF発生のための電源装置の設置及びエージング運転を開始した。数値計算の結果より、±0.2%程度の安定性が電源に求められているが、動作試験により、設置した電源が±0.1%程度の安定性があることがわかった。また、50MW級Xバンドクライストロンを設置し、RF発生試験に向けてエージング運転を続けている。また、RF発生試験中における放電現象による機器の破損を防ぐため、高速RFインターロックの構築および試験を実施した。

一方、Xバンド線形加速器ビームラインの設置に向け、設置場所にあわせるためのビームライン再設計を行った。全長6m程度のビームラインを設置場所に収まるよう最適化し、40MeVまで加速した電子ビームをレーザーと衝突させることによるX線の生成および単色X線応用実験が可能なビームラインの設計をほぼ完了した^[9]。

16年度にはXバンド大強度RF発生試験を行うとともに、Xバンド線形加速器ビームラインの設置急ピッチで進めており、熱RF電子銃試験、ビーム加速試験を順次行う予定である。表2にxバンドのタイムスケジュールを示す。

この硬X線源実証ビームラインの建設と平行して、最終目標である医療用小型硬X線源の設計検討を進めている。特に問題なのがX線強度の増強であり、我々は衝突後のレーザー光を再度衝突点に入射することによりX線強度の増強を図るレーザーサーキュレーションの検討を進めており、この秋にも実証実験を行う予定である^[10]。

6. 今後の展開

SバンドツインライナックではMgカソードRFガンにより安定稼働を実現し、引き続き放射線化学実験および医療用加速器の研究・開発のための共同実験を供する。レーザープラズマライナックは電子ビームの安定生成および、人工レーザープレパルスによるプラズマキャビティー形成プロセスの制御、キャピラリープラズマ光導波路によるチャンネルガイド加速実験を準備中である。医療用小型電子ライナック国産復活のため、医工連携と化学放射線治療科学研究会(第1, 2回東大病院講堂にて12, 7月実施)を推進していく。

参考文献

- [1] Y. Muroya, T. Watanabe, G. Wu, Xi. Li, T. Kobayasi, J. Sugahara, T. Ueda, M. Uesaka and Y. Katsumura, Radiation Physics and Chemistry, 60 (2001) pp. 307-312
- [2] M. Uesaka et al., "Instability of synchronization between laser and beam depending on environmental noise at photocathode RF gun." 当学会で発表
- [3] T. Hosokai et al., "Experimental study on femtosecond electron generation by laser plasma cathode." 当学会で発表
- [4] T. Hosokai, et al, Phys. Rev. E. 67, 036407(2003)
- [5] T. Hosokai, et al, Phys. Plasmas (In Press 2004)
- [6] K. Kinoshita et al., "Prepulse control of an intense femtosecond laser pulse by propagation through a thin foil plasma." 当学会で発表
- [7] N. Yamaoka et al., "Development of Spatial Filter for Laser Plasma Cathode Experiments." 当学会で発表
- [8] T. Hosokai, et al, Opt. Lett. 25, 10 (2000)
- [9] K. Dobashi et al., "X-band RF generation test of compact hard X-ray source based on X-band linac" 当学会で発表
- [10] F. Ebina et al., "Laser circulation system for compact monochromatic hard-X-ray generator" 当学会で発表

表2 x-band タイムスケジュール

