

Current Status of U.Tokyo Quad Linacs in2006

Mitsuru Uesaka^{1,A)}, Akira Sakumi^{A)}, Toru Ueda^{A)}, Tomonao Hosokai^{B)}, Kenichi Kinoshita^{A)}, Katsuhiro Dobashi^{A)}, Atsushi Yamazaki^{A)}, Alexei Zhidkov^{C)}, Fumito Sakamoto^{A)}, Akira Maekawa^{A)}, Tomohiko Yamamoto^{A)}, Ryouyusuke Tujii^{A)}, Takuya Natsui^{A)}, Kazue Mizuno^{A)}, Meiling^{A)}

^{A)} Nuclear Professional School, the University of Tokyo
2-22 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki 319-1188, Japan

^{B)} Tokyo Institute of Technology

2-12-1 Ookayama, Meguro-ku Tokyo, 152-8550, Japan

^{C)} Central Research Institute of Electric Power Industry
Ohtemachi Bldg, 1-6-1 Ohtemachi, Chiyoda-ku Tokyo 100-8126

Abstract

Updated status of S-band twin linacs, X-band linac Compton scattering monochromatic X-ray source and laser plasma cathode is presented. Operation and application experiments of the S-band linacs are going well. Mg cathode has been replaced. Further, a cartridge-type Cs₂Te cathode is planned to be installed soon. X-band thermionic RF gun was completed and the governmental inspection as a radiation facility was approved this January. The whole system has been constructed and the medical applications like two-colored CT, subtraction CT and phase contrast imaging starts soon. Monochromatic electron bunch, 100-200 fs (FWHM) single bunches and stable low emittance beam generation by applying magnetic field are highlights for the laser plasma cathode. Additionally, construction of 950 kV X-band (9.4GHz) mobile linac X-ray source has started.

東大原子カクウッドライナック現状報告2006

1. はじめに

Sバンドツインライナック、Xバンド(11.424GHz)ライナック単色X線源、レーザープラズマカソードの最新ハイライトを要約して報告する。加えて非破壊検査用可搬型Xバンド(9.4GHz)ライナックX線源の開発も始まったのでこれも報告する。

2. Sバンドツインライナックと共同利用

表1に今年度実施されているテーマ一覧を示す。ビーム科学系6件、利用系6件が走っている。運営費交付金の減少により、後述する複数の外部資金研究プロジェクトと並行実施することにより、運転維持費を捻出している状況である。ユーザの方々も各人が獲得された研究費でほとんど手弁当の形で実験にいらしている。以前からそうであるが、共同利用というより実質共同研究のような形態になっている。

18MeVライナックでは、レーザーフォトカソードRFガンの、約6年有効に利用したMgカソードを

表1 平成18年度共同利用テーマ

順番	テーマ名	代表者
L-1	水素源の放射線効果の研究	藤村肇介 (東京大学)
L-2	電子プラズマプロセスを用いた超導線材の研究	藤村肇介 (東京大学)
L-3	光電子材料の放射線劣化特性の測定と改善	工藤次樹 (東京大学)
L-4	アルミナ窓材の放射線劣化特性の測定	高橋謙之 (東京大学)
L-5	放射線の高分子材料への応用	山下俊 (東京理科大学)
L-6	高電圧電子銃の放射線劣化特性の測定	藤村肇介 (東京大学)
L-7	高電圧電子銃の放射線劣化特性の測定	藤村肇介 (東京大学)
L-8	高電圧電子銃の放射線劣化特性の測定	藤村肇介 (東京大学)
L-9	高電圧電子銃の放射線劣化特性の測定	藤村肇介 (東京大学)
L-10	高電圧電子銃の放射線劣化特性の測定	藤村肇介 (東京大学)
L-11	高電圧電子銃の放射線劣化特性の測定	藤村肇介 (東京大学)
L-12	高電圧電子銃の放射線劣化特性の測定	藤村肇介 (東京大学)

春に更新した。レーザー入射ポートから見

ついていた数百μmクレータ (RFエージングの際に発生と推測) は予想したより多くなかった。一方、Mgと銅の境界と、カソード端板のエッジに、多数の放電痕があった。これがRFエージング時の真空悪化の主要因のひとつと考えられる。さらにJASRI/SPring8と共同開発したカートリッジ型可換高量子効率Cs₂Teカソードの導入を検討した。電子銃周りのスペースに余裕がいたため、リボルバー式の複数カートリッジ保管・交換部を入れることが困難

¹ E-mail: uesaka@nuclear.jp

であることが判明した。したがってその機能は諦め、1個のみのカートリッジを使って1回毎大気開放する方式を採用することとした。カソードとしてはCs₂Te、可視光用Ag-O-Csを採用する。端板部の穴あけ形状変更はRF的にもビームダイナミクス的に問題ないことはSUPERFISH, PARMEIAにて確認した。8, 9月にインストール・調整し、運転試験に入る予定である。

さらに今年度経産省NEDO「電磁波エネルギーを利用したナノ診断・治療システムの創製の研究開発(F/S)」に採択され、深部がん治療用X線DDS (Drug Delivery System、薬品伝達システム)を実現する開発研究を始めた。現状の照射治療の空間分解能5mmを向上させるべく、1mm以下のMeV・X線コリメータを(株)アキュセラと共同で開発中である。

2. レーザープラズマライナック^[2]

メインレーザーパルス(最高12TW50fs)の前のns領域のプリパルスを操作して初期プラズマ密度を制御する自己入射方式プラズマカソードによって準単色化に成功した^[3]。また東北大・京大炉の協力を得て、Ti膜を使ったコヒーレント遷移放射光(Coherent Transition Radiation, CTR)スペクトル測定による電子バンチ計測実験を昨年度から開始している。プラズマ中ではPIC数値解析により、2fsの数バンチがプラズマ波周期15fs毎に並ぶマルチバンチである(図1参照)。そのエネルギースペクトル測定結果の1例を図2に示す。しかしながら、このスペクトルは毎回変動するため、距離を走るとパルスが伸張する。11月、1月の実験ではプラズマとTi膜窓との距離が18mmある。この距離では準単色ビームの場合、半値幅で100-200fsで、単色でないマックスウェル分布のビームは2ps程度であることがわかった。CTR測定は、ガラスタイプのローパスフィルタを駆使して液体ヘリウムSiポロメータにて測定した。スペクトルの測定結果の1例を図3に示す。ガウス分布を仮定した計算結果のスペクトル曲線も図に加えた。両者比較からこのケースでは半値幅100fsと判定できる。また到達時間も準単色で200fs程度、マックスウェル分布も入れると2ps程度であった^[4]。RFライナックとフェムト秒レーザーとの同期システムにおける、短時間ジッター400fs、長時間ドリフト2psと奇しくも同じ程度である。

さらに最近磁場をプラズマに印加することにより、マックスウェル分布ビームではあるが、エミッタンス1mm.mrad以下の高品質ビームが十中八九、安定に生成できるようになった^[5]。

今後の課題は遠赤外ポリクロメータでシングルショットでのCTRスペクトル測定とバンチ形状評価、キャピラリ放電プラズマによる安定追加速、磁場印加による単色化である。

なお昨年度から本システムは、東大ナノバイオイン

テクレーション拠点のセルセラピー班に加わり、ピ

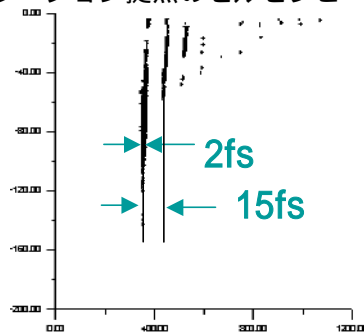


図1. 2次元PIC数値解析によるプラズマ中でのフェムト秒マルチバンチ波形(縦軸:運動量、横軸:進行方向座標)

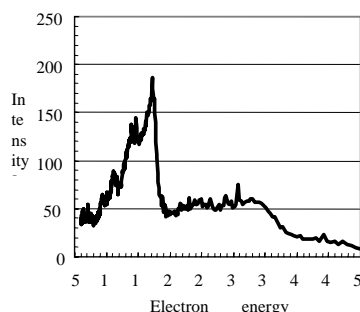


図2. 電子エネルギースペクトル測定結果の1例(ピークエネルギー:17MeV)

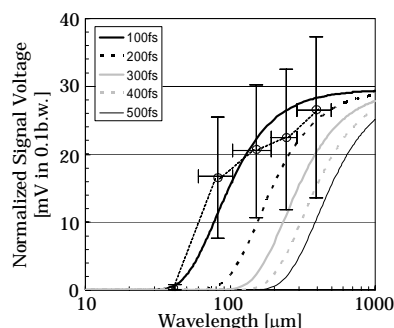


図3. 電子バンチからのコヒーレント遷移放射光スペクトル(ガウス分布波形仮定の半値幅100fsとベストフィッティング)

ンポイント照射セルセラピーを目指す。

3. Xバンドライナック単色X線源^[6]

Xバンド熱RF電子銃は完成し^[7]、平成18年1月16日にXバンド熱RF電子銃の文科省施設検査が行われ、2MeVで合格した。

本システムの開発あたる小型化に伴う課題は以下にまとめられる。

A. 熱RF電子銃・加速管
高電界化、金属スプリングによるカソードロッドの0.1mm精度の芯出しポジショニング、約1,100度に加熱されたカソードロッドと端板との熱絶縁、

スプリングによるRF遮蔽、小型空洞ゆえの真空のコンダクタンス排気の低さと長時間化、国内初の11.424GHz高エネルギーライナック故のRF機器の品質の未熟さ、総じてRFエージングの進展の遅さ
B・クライストロン・モジュレータ
特にモジュレータにおいて、筐体の小型化により、高・低パワー回路・配線の近接化による、前者から後者へのノイズと誤動作

上記課題については、頻繁に、IHI、東芝、イーキューブ、KEKらと打ち合わせし、原因の究明と対策を講じている。結果、ようやく7月末に全システムが組みあがり、真空引き、RFエージングを開始した。加速管周りの写真を図4に示す。

一方レーザー側はIHI主導のJSTプロジェクトで開発中であるが、YAGレーザー2倍高調波フルパワー1.4Jで周回運転に成功した。8月末よりX線発生を試み、国立循環器病研究センター、放医研、東大新領域研究科、原機構等と、2色X線CT、差分CT、経静脈血管造影、位相コントラストイメージングなどの利用実験を行っていく予定である。図5に利用日程を示す。

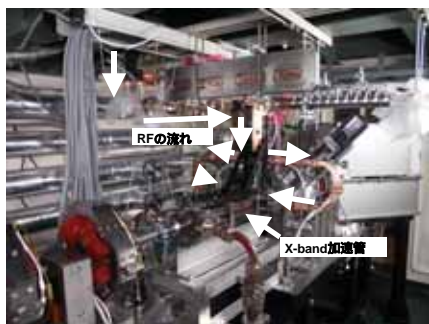


図4．Xバンドライナック写真(加速管周り)

4．非破壊検査用Xバンド(9.4GHz)ライナックX線源^[8]

平成17年度よりKEK大学支援事業に参画させていただき、(株)アキュセラとも共同で、950keV Xバンド(9.4GHz)電子銃・加速管・マグネトロンを開発し始めた。今年経産省関東経済局地域新生コンソーシアム研究開発事業に「可搬型高エネルギーリニアックX線源の開発(図6参照)」を申請し採択された。文科省放射線障害防止法に抵触せず厚労省電離放射線規則のみ順ずる950keV Xバンドライナックを2年で開発する。既存の装置はSバンドライナック、数MWマグネトロンを使ってX線スポットサイズが3mm以上で、金属の欠陥検出の空間分解能もそれ以上である。それに対して、Xバンド加速管、250kWマグネトロンを採用して小型化、低コスト化をはかり、電子ビーム・X線のスポットサイズを1mm以下を目標とする。可搬型で持ち出し可能でその場で非破壊検査ができることを実現させる。今年

度Xバンドライナックを開発し、来年度非破壊評価
7 8 9 10 11 12 1 2

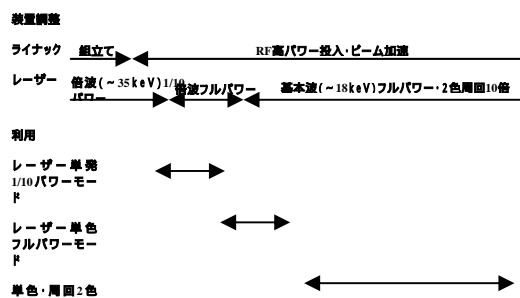


図5．コンプトン散乱単色X線源利用実験日程

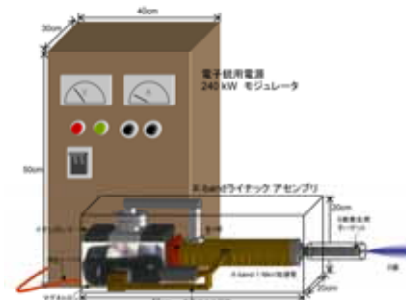


図6．可搬型高エネルギーリニアックX線源イメージ

システムを構築する予定である。(株)ひたちなかテクノセンターが管理法人で、東大原子力専攻、(株)アキュセラ、(株)イーキューブのコンソーシアムで開発し、KEKと日立製作所がアドバイザーとなる(図6)。

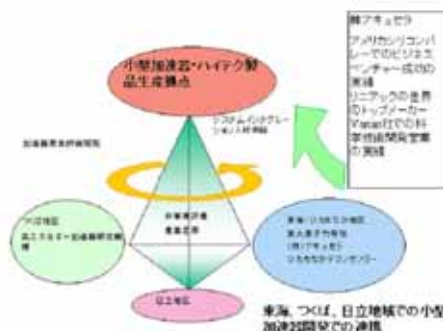


図7．地域新生コンソーシアム

参考文献

[1] 作美明他、本プロシーディングス。
[2] 細貝知直他、本ロシーディングス。
[3] T.Hosokai, et al., PRE, 73, 036407 (2006).
[4] T.Ohkubo, et al., submitted to PR-STAB.
[5] T.Hosokai, et al., PRL, in press(2006)
[6] 坂本文人他、本ロシーディングス。
[7] F.Sakamoto, et al., Journal of Korean Physical Society, 49, 1, p.286 (2006)
[8] 山本智彦他、本ロシーディングス。