STATUS REPORT OF LINAC/LASER FACILITY OF **UNIVERSITY OF TOKYO** - FORWARD FROM RECOVER TO UPGRADE-

Yoshihisa Nakazono ^{#,A)}, Mitsuru Uesaka ^{A)}, Kazuyoshi Koyama ^{A)}, Toru Ueda ^{A)}, Katsuhiro Dobashi ^{A)}, Takeshi

Fujiwara^{A)}, Jin Ming^{A)}, Aimieding Aimidula^{A)}, Eiji Tanabe^{B)}, Naoki Nakamura^{B)}, Masashi Yamamoto^{B)}, Joichi Kusano^{B)}

A) Nuclear Professional School, The University of Tokyo

2-22 Shirakata-shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, Japan

B) Accuthera Inc., 2-7-6, Kurigi, Asao, Kawasaki, Kanagawa, 215-0033, Japan

Abstract

We have almost recovered from the damages due to the earthquake and we are starting new projects at the linac/laser facility of Nuclear Professional School, University of Tokyo. We have restarted the open use of the facility from this April. We are still recovering our own device to produce multi-Alkali photocathode of Na5KNb under collaboration with JAEA. X-band (11.424GHz) 30 MeV linac for Compton scattering monochromatic X-ray source is still under repair. New fiber laser oscillator and regenerative amplifier are going to be installed for the laser driver of the photocathode RF gun and light source of the pump&probe analysis. Development of portable X-band (9.3GHz) 950 keV linac and 3.95/6 MeV linacs have been almost completed and they have been commissioned for the applications. Transmission nondestructive test of thermal-shielded-pipe used at petrochemical complex and PC (Prestressed Concrete) for bridges are under way by the 950 keV and 3.95 MeV linacs, respectively. Especially, the 950 keV system was used on-site for the first time. As for 12 TW 50 fs laser, we moved it to KEK for wider open uses. Furthermore, an new on-chip photonic crystal electron linac and a new fiber laser driver for nano-mm-size and attosecconds beam ssource for advanced radiation biology sre under design and developmeent.

東大ライナック・レーザー施設報告ー復旧から復興へー

1. はじめに

東京大学大学院工学系研究科原子力専攻は東 北・太平洋沖地震で,ライナック・ブランケッ ト・重照射施設含め、甚大な被害を受けた。特 に重照射施設の2台のイオン加速器本体に大き な被害(バンデグラフ加速管の変形、タンデトロ ンの加速管の破壊、放射線遮蔽扉2つの破壊)が 出ている。また、ライナック・ブランケットで は加速器・顕微鏡等大型装置の被害は甚大でな いが、計器類多数転倒破壊、放射線遮蔽扉の異 常など生じた。ライナック・レーザー施設は、 幸い本体の被害は甚大でなく、平成23年9月の 学内・大学連携実験演習を不充分な状態ながら、 予定通り実施した。さらに平成24年4月から共 同利用を再開できたことは、喜ばしい限りであ る。共同利用テーマ一覧を表1に示す。

2. Sバンドツインライナック

文科省量子ビーム基盤技術開発プログラムにて、 光陰極を交換可能なカートリッジ型可視光対応の Na₂KSb を開発・利用している。量子効率低下が紫 外領域のそれに比べて大きく実用的レベルを目指す

表1.東大原子力専攻ライナック共同利用テーマ一覧

テーマ番号	テーマ名	研究テーマ 代表者	実験参加代 表者
24L-01	水溶液の放射線効果の研究	勝村庸介	勝村庸介
24L-02	パルス&プローブ法を用いる超高速 反応の研究	勝村庸介	勝村庸介
24L-03	高速応答シンチレータの開発と性能 評価	浅井圭介	浅井圭介
24L-04	高温・超臨界溶媒の放射線化学	勝村庸介	勝村庸介
24L-05	フォトカソード RF 電子銃の高性能化	大熊春夫	大熊春夫
24L-06	レーザープラズママルチビーム研究	上坂 充	小山和義
24L-07	X バンド加速器の応用研究	上坂 充	上坂 充
24L-08	不定比金属組成を制御した銅酸化物 超伝導体のピンニング特性に及ぼす	寺井隆幸	下山淳一
24L-09	パルスラジオリシス法による金属タン パク質の電子移動反応の研究	高妻孝光	高妻孝光
24L-10	<i>エマルジョンガンマ線望遠鏡のエネル</i> <i>ギー分解能測定</i>	青木茂樹	高橋 覚
24L-11	照射によるゲル化およびゲル中での 照射効果の研究	田口光正	山下真一
24L-12	パルス X 線発生を利用した陽電子消 滅法の研究	平出哲也	平出哲也
24L-13	フェムト秒ライナックのためのマシンス タディ	上坂 充	上坂 充

ために、日本原子力研究開発機構と共同で、アンチ モンベース陰極製膜用 MBE 装置を用い陰極劣化のメ カニズム検討を行っている。Na₂KSb フォトカソード 表面についてレーザー顕微鏡による観察を行い JIS-

B0601 に基づく表面粗さ分析を行い表面に深さ約 20mm 程度の黒い穴が局所的に形成されていることが 明らかになった。使用済みカートリッジ薄膜のナノ インデンテーション試験を行い、Cs₂Te は Na₂KSb よ り弾性率が小さい可能性があり Cs₂Te は Na₂KSb より 軟かい可能性があることがわかった。インデンテー ション試験結果より Cs₂Te は表面がナノオーダーの 範囲で表面粗さが大きい可能性があり、Na₂KSb は使 用後表面粗さが増大する可能性がある。この製膜シ ステムも地震の被害を受け、現在復旧中である。

さらに、レーザーフォトカソード RF 電子銃駆動、 ポンプ&プローブ分析光用の 0.3TW100fsTi:Sapphire レーザーのオシレータ・再生増幅器をファイバー レーザーに更新することとした。以下のその仕様を 示す。

1) フェムト秒レーザーオシレータ

• 発振形態	パルス発振
・波長	780 nm \sim 790 nm
・平均出力	65mW 以上
・パルス幅	120fsec 以下
・繰返周波数	119MHz
	し日期ナマ搬捕ナロナレ

- ・外部の RF 信号 476MHz と同期する機構を保有し、
 短期タイミングジッター 200fsec 未満(0.1Hz ~ 500kHz)。
- 2) 再生増幅器励起用パルスグリーンレーザー

半導体励起レーザー

•	波長	527nm
•	平均出力	20W 以上@1kHz
•	出力安定性	1%以下 (rms)

3) 再生增幅器

チタンサファイア再生増幅器

- ・波長 780nm ~ 800nm
 ・バースト機能 ポッケルセルにてパルスを間
 引き、1ms 間隔の連続する 2 パルスを 10Hz にて取り出し可能
- ・パルスエネルギー 3mJ以上@1kHz
- これを2分岐し、それぞれ下記出力が得られる。
- 1.5mJ以上@ 780nm ~800nm (基本波)

150μJ以上@ 260nm ~266nm (第三高調波)

 パルス幅~150fsec @ 780nm~800nm(基本波) 3~5psec @ 260nm~266nm(第三高調波),
 基本波(780nm~800nm)および第三高調波 (260nm~266nm)は、それぞれ独立にパルス幅 を調整できる。
 出力安定性 0.5%rms以下@800nm

・山刀女足住	
・空間モード	TEM ₀₀ (ガウス分布の
	M ² 值:1.3以下)
・消光比(メインパルス	・ノイズ比)>500:1
・偏光	リニア、水平
・繰返し周波数	1kHz

- 4) 第二·第三高調波発生器
- ・第二・第三高調波発生器は、上記1)、2)、
- 3)と同じ筐体内に配置される。
- ・発振波長 SHG: 390~400nm、THG260~266nm
- ・出力 >0.15mJ@THG (1.5mJ@2psec励起時)

3. Xバンドライナック群

3.1 コンプトン散乱単色 X 線源

震災の被害を受けたが、現在復旧である。またこ 年度内に X バンド熱 RF 電子銃の位置の最適化を行 う予定である。

この新ファイバーレーザードライバの導入により、 レーザーの小型化が進み、レーザー本体をライナッ ク照射室の RF ガン真横に置くことができる。現状 はレーザー室から 50m の窒素封じ込めレーザービー ムラインを通して、RF ガン、分析装置にレーザー光 を導いていた。このため、建家の昼夜の伸縮による 電子パルスとレーザーパルスとの時間差の、ピコ秒 オーダー以上の時間ドリフト、レーザースポットの 位置のずれなどの安定性の問題がある。これらが解 消され、より安定な高時間分解の放射線化学分析の 実現が期待できる。

3.2 可搬型ライナックX線源群^[1,2]

改良型 950keV Xバンドライナック、橋梁その場 検査用 3.95MeVX バンドライナックX線源、ピンポ イントX線動体追跡がん治療用 6MeV システムはす べて完成し、利用及び実用化が実施されている。

4. 新レーザー加速システム^[3-5]

12TW50fs レーザーを今年7月にKEKに移転し、 共同研究を効率化し推進することとした。

一方新たな方向として、ナノメートルサイズ・ア ト秒電子ビーム小型加速器の開発を目指した、レー ザー誘電体加速によって電子を加速するシステムを 設計している。レーザー光の電場による加速では、 数 100MeV/m の加速電場が可能となり,加速管長が 数 mm 程度となる。ファイバーレーザーは出力の安 定化と位相制御が容易であり、本研究では直径マイ クロサイズ電子ビーム小型加速器のレーザー開発を 最終目標に、現在チタン・サファイア TW レーザー オシレーター用超短パルスファイバーレーザーの開 発を行っている。ファイバーレーザーの利得媒質の Yb は発振波長が 1064nm でチタン・サファイアの発 振波長と異なるため、非線形フォトニッククリスタ ルファイバー(Photonic Crystal Fiber: PCF)によってス パーコンティニューム(SuperContinuum:SC)光を発生 させて波長変換を行う。ここでは Yb ファイバー レーザー共振器,増幅器の製作と非線形 PCF による SC 光発生に成功した。共振器と増幅器からは中心 波長 1060nm,パルス幅 860fs,繰り返し周波数 60MHz,平均出力 6.9W のパルスが得られ、SC 光に より波長をおよそ 930~1080nm まで広げることが出 来た。現在はチタン・サファイアの利得波長におけ る SC 光の位相状態の計測と光パラメトリック増幅 に向けて調整を続けている。開発されたレーザーと 増幅器の写真を図1に示す。



(a) Yb ファイバーレーザー 発振器



(b) ファイバーレーザー 増幅器

図 1. 誘電体(Dielectric; Photonic Crystal) レーザー加速用ファイバーレーザー

また、ナノメートルサイズ・アト秒電子ビーム小型加速器では、数百 nm 程度の nm サイズビームの 実現が期待され、DNA や遺伝子の狙い撃ちによる、 それらの損傷と修復の研究を展開したい。設計中の 誘電体 (Dielectric; Photonic Crystal) 加速管と電子加 速シミュレーションの様子を図 2 に示す。内部構造 は 1µm 以下のサイズである。将来的にはひとつの チップにレーザー以外の加速システムを微細加工し て製作したい。

最後にオンチップ加速器による DNA 狙い撃ちのイ メージを図3に示す。



(a) 両側からのレーザー照射による加速定在波



(b) 電子加速シミュレーション例

図 2. 誘電体(Dielectric; Photonic Crystal)レー ザー加速の設計例



図 3. 先進放射線生物学用オンチップ加速器のイ メージ

謝辞

本研究へ日頃からの協力いただいている、高エネル ギー加速器研究機構吉田光宏氏、夏井拓也氏、日本 原子力研究開発機構 羽島良一氏、西森信行氏、松 葉俊哉氏に、に厚く感謝いたします。

参考文献

- M.Uesaka, et al., "可搬型 950 keV/3.95 MeV X バンドライナック X 線源の現場透視検査の開始",本プロシーディングス, WEPL06, 2012
- [2] K.Dobashi, et al., "9.3GHz Xバンド3.95MeV,950keV ラ イナック X 線発生装置のビーム性能評価",本プロ シーディングス, THPS129 2012
- [3] K.Koyama, et al., "レーザー駆動誘電体加速器;放射 線生物学研究への応用を目指して",本プロシーディ ングス, FRLR16,2012

- [4] Y.Matsumura, et al., "レーザー誘電体加速に向けたファ イバーレーザーの開発",本プロシーディングス, THPS114, 2012
- [5] A. Aimierding et al., "Design of Laser Driven Dielectric Accelerator for Basic Radiation Biology Researches", 本 プロシーディングス, THPS116, 2012