

## Current Status of Linacs and Lasers of U.Tokyo in 2007

○Mitsuru Uesaka<sup>1,A)</sup>, Akira Sakumi<sup>A)</sup>, Toru Ueda<sup>A)</sup>, Atsushi Yamazaki<sup>A)</sup>, Fumito Sakamoto<sup>A)</sup>, Akira Maekawa<sup>A)</sup>, Tomohiko Yamamoto<sup>A)</sup>, Ryousuke Tujii<sup>A)</sup>, Takuya Natsui<sup>A)</sup>, Kazue Mizuno<sup>A)</sup>, Jiang Meiling<sup>A)</sup>, Aya Miyatake<sup>A)</sup>, Yoshihiro Taniguchi<sup>A)</sup>, Hiroki Taguchi<sup>A)</sup>, Yuusa Muroya<sup>A)</sup>, Yousuke Katsumura<sup>A)</sup>, Tomonao Hosokai<sup>B)</sup>, Alexei Zhidkov<sup>C)</sup>, Naoki Nakamura<sup>D)</sup>, Eiji Tanabe<sup>D)</sup>,

<sup>A)</sup> Nuclear Professional School, the University of Tokyo  
2-22 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki 319-1188, Japan

<sup>B)</sup> Tokyo Institute of Technology  
2-12-1 Ookayama, Meguro-ku Tokyo, 152-8550, Japan

<sup>C)</sup> Central Research Institute of Electric Power Industry  
Ohtemachi Bldg, 1-6-1 Ohtemachi, Chiyoda-ku Tokyo 100-8126

<sup>D)</sup> Accethera Co. LTd.  
2-7-6 Kurigi, Asaoku, Kawasaki-city, Kanagawa, Japan

### Abstract

Updated status of S-band twin linacs, laser plasma linac, X-band linac Compton scattering monochromatic X-ray source, 950 keV X-band portable linac X-ray source and medical physics application are presented. Installation and commissioning of the cartridge-type Cs<sub>2</sub>Te photocathode have been done. It is going to be used for radiation chemistry. Control of the electron beam direction by rotating the permanent magnets and formed plasma channel was succeeded for the laser plasma cathode. Electron beam acceleration up to 22 MeV was achieved at the X-band Compton scattering monochromatic X-ray source. We are to generate the tunable monochromatic X-rays and their medical application this autumn. 20 keV electron from the thermionic gun and 290 kW RF power feeding to the accelerating tube were performed at 950 keV X-band (9.4GHz) portable linac-based X-ray source. Now experiment of electron acceleration and Bremsstrahlung X-ray generation is under way. Nondestructive evaluation of corrosion, wastage and crack of metal pipes will be carried out soon. Finally, a new trend of medical physics, that is X-rayDDS( Drug Delivery System), is introduced.

## 東大原子カライナック・レーザー施設現状報告2007

### 1. はじめに

Sバンドツインライナック、レーザープラズマカソード、Xバンド(11.424GHz)ライナック単色X線源、非破壊検査用可搬型950keV Xバンド(9.4GHz)ライナックX線源、医学物理応用の最新ハイライトを要約して報告する。依然ライナック数が増え続けているので、数を冠した表題はもう止めにした。

### 2. Sバンドツインライナックと共同利用 [1]

東大ライナック施設に設置されている18MeV Linac (18L)は、サブピコ秒時間領域の物理現象、特に放射線化学実験のため利用されてきた。今年度共同利用テーマ一覧を表1に示す。この18Lのインジェクター部分ではMgフォトカソードが使用されてきた。パルスラジオリシス実験で更なる高時間分解能を実現させるために、QEの高いカソードが使用できるカートリッジ式のフォトカソードRF電子銃

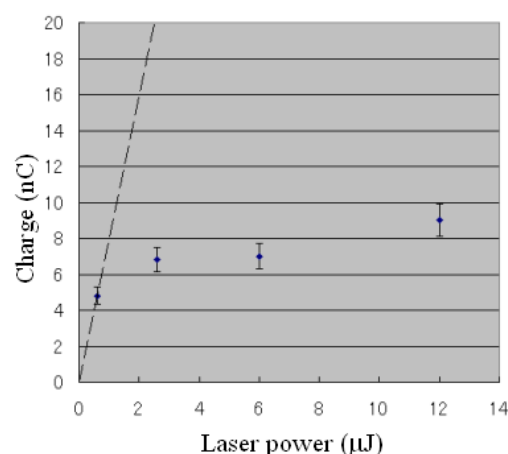


図1. レーザー強度と電子ビームの電荷量  
点線は0.8μJの時の量子効率で3.7%

の開発を行った。Cs<sub>2</sub>Teカソードを用い、RF電子銃後で最大9nC、加速後4nCの電荷量が得られた。量

<sup>1</sup> E-mail: uesaka@utnl.jp

表1. 平成19年度共同利用状況

テーマ名	代表者
水溶液の放射線効果の研究	勝村庸介 (東京大学)
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)
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)
アルミナ蛍光板の発光特性の測定	高橋浩之 (東京大学)
放射線の高分子材料への応用	山下俊 (東京理科大)
高速応答シンチレーターの開発と性能評価	浅井圭介 (東北大学)
医療用小型加速器要素技術試験	浦川順治 (高エネ研)
高温・超臨界溶媒の放射線化学	勝村庸介 (東京大学)
フォトカソードRF電子銃の高性能化	大熊春夫 (JASRI/SPring8)
極短時間分解測定のための要素技術試験	作美明 (東京大学)
レーザープラズママルチビーム研究	上坂充 (東京大学)
単色エネルギー可変硬X線源の応用研究	上坂充 (東京大学)

子効率率は最大で3.7%であり、本来のCs<sub>2</sub>Teカソードの量子効率4-5%に近い値であった。

### 3. レーザープラズマライナック<sup>[2]</sup>

超高強度レーザーによるレーザー航跡場加速のプリパルス効果を調べるためにプラズマと発生電子のシングルショット計測を行った。また、レーザープラズマ相互作用のためのプレプラズマ条件を制御するために、人工プレパルスを付与する実験体系の構築(図2)と外部磁場印加の影響の調査を行った。外部磁場印加によって、電子ビームの電荷量の向上、エネルギーの向上、指向性の向上などが確認された。特に指向性、安定性については飛躍的に向上した。今後、さらにプレプラズマ状態の制御と最適化を行

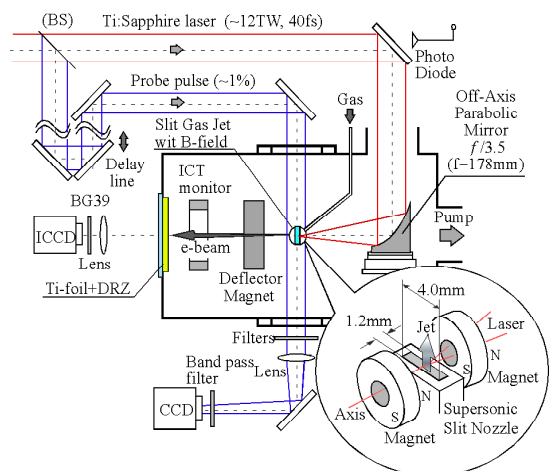


図2. 外部磁場印加実験体系

い、レーザープラズマカソードの高度化を目指す。

### 4. Xバンドライナック単色X線源<sup>[3]</sup>

X-band電子線形加速器を用いた小型逆コンプトン散乱X線源の開発を進めている。このシステムは、X-band 50 MWクライストロン、X-band熱カソードRF電子銃、エネルギー選別・バンチ圧縮用アル

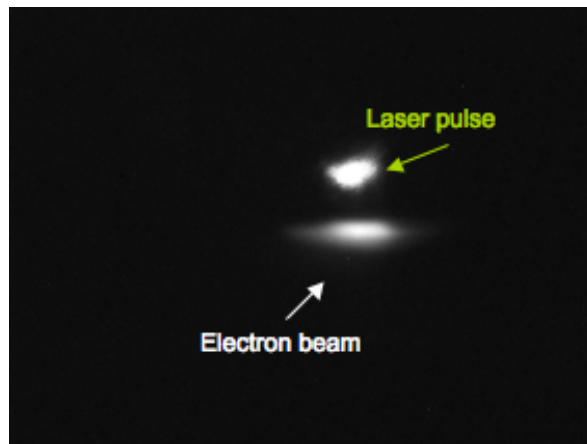


図3. 電子ビーム・レーザー衝突点での各ビームプロファイル

ファ電磁石、X-band進行波型加速管、Nd:YAGレーザー、X線検出器で構成されている。これまでに、X-bandクライストロンの大電力試験、3.5-cell X-band熱陰極RF電子銃の高電界試験とビーム発生試験、及びX-band加速管を含む立体回路とビームラインの構築を順次行い、高電界試験及びビーム加速試験を実施した結果、最大40 MWの大電力投入を達成し、約22MeVの電子ビーム加速を実証した。現在電子ビームをレーザー衝突点へ輸送し、コンプトン散乱によるX線発生試験を実施している。図3に電子ビーム・レーザー衝突点での双方のビームプロファイルを示す。電子ビームのビームサイズはx: 150 $\mu$ m、y:100 $\mu$ m (rms) であり、目標値である100 $\mu$ mをほぼ満たしている。今後、X線の空間プロファイル、X線強度、エネルギースペクトルの評価を順次行う予定である。

### 5. 非破壊検査用Xバンド(9.4GHz)ライナックX線源<sup>[4]</sup>

我々は、250kW MagnetronをRF源とする9.4GHz X-band Linacを用いたX線非破壊検査装置の開発を行っている。本装置では低エネルギーのMagnetronを使用することで、電源、冷却装置などシステム全体を小型化している。さらに、発生する電子ビームエネルギーを950keVとすることで、放射線障害防止法に基づく放射線管理区域の設置が必要なく持ち運び可能な装置となる。

本装置のLinacは当初 $\pi/2$ -modeのみで設計していたが、シミュレーションの結果、低エネルギー部に問題があり電子ビームを安定に加速できないことが分かった。これを解決するため、加速管の低エネルギー部には $\pi$ -mode空洞を採用し、最終的に950keVの電子ビームが得られる形状を設計することができた。

形状決定の後、KEKにて加速セルを作成し、拡散接合・ろう付けを行い、共振周波数・Q値・電場分布を測定した。測定の結果、設計値と一致する値が

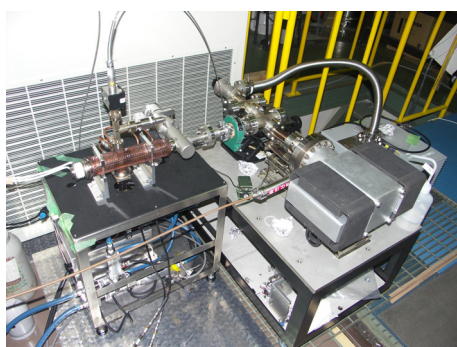


図4. 950keV X線バンドライナック試験体系

得られた。その後電子銃・RF窓の溶接を行った現在は電子ビーム測定ラインを組み、電子加速試験を行っている(図4)。我々は電子ビームの電流・スポットサイズ・エネルギー・エミッタンスを測定し、そのあとX線発生測定、非破壊評価実証試験を行う予定である。

## 6. 医学物理応用 - X線薬品送達システム-

ライナックX線の新しい医学応用とし、肝臓がん、すい臓がんなどの外科手術が必ずしも有効ではない深部がんを対象とした治療法と期待される、DDS (Drug Delivery System) 化抗がん剤とX線治療の併用、いわゆるX線DDSによるがん治療法の確立のための研究を行っている。図5にX線DDSの概念を模式的に示す。Au, Ptといった高原子番号でX線吸収が強い元素を包含し、強い吸収による造影効果とオージェ電子と特性X線による放射線増倍で治療効果を狙うタイプのものがある。一方シンチレータとPDT (Photo-Dynamic Therapy、レーザー光照射で活性酸素を出してがんを治療する方法) 剤をDDSしてX線->可視光->活性酸素->がん治療するタイプのものもある。東大では前者を上坂グループが、後者を高橋浩之教授グループが研究している。DDS化抗がん剤としては、X線と強い相互作用を有する重金属を含有したシスプラチンミセルおよびPEG等により修飾した金コロイドに着目し、それらとX線との併用がもたらす細胞毒性評価を目的として、in vitro生物実験、物理化学実験、そして数値シミュレーションによる各種評価試験をこれまでに実施してきた。

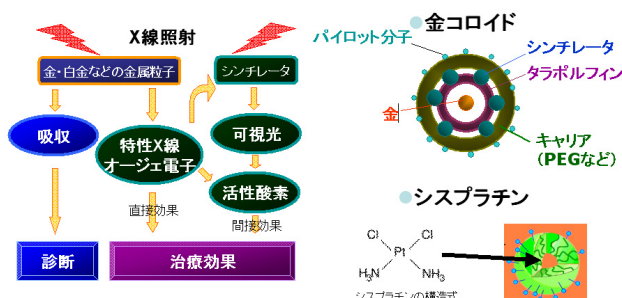


図5. X線DDSの構造と物理

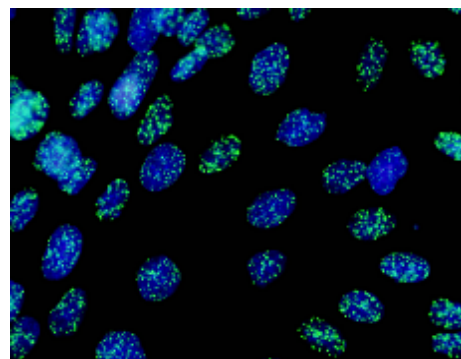


図6. シスプラチンミセル投与および放射線照射後のCHO細胞に対する免疫染色試験結果

図6は、シスプラチンミセルとX線の併用による細胞毒性評価のために実施したin vitro生物実験結果の一例であり、シスプラチンミセルを1 μM投与した後にX線を4 Gy照射したCHO細胞に対して免疫染色を行なったものである。図中緑色の輝点がDNAの損傷部位を表しており、薬剤とX線照射により細胞のDNA損傷が引き起こされていることが確認できる。

物理化学実験においては、放射線治療時の間接効果の指標であるOHラジカルが、DDS化薬剤によりどのように増減するのかを評価することを目的としてパルスラジオリシス試験を実施した。得られた結果はDDS化薬剤によりOHラジカルが減少してゆることが明確に示されたものとなっており、放射線治療の観点からはDDS化薬剤ががん治療効果を妨げうる可能性があること、またそのような特徴を利用して副作用の少ない造営型DDS薬剤の開発が可能であると考えられることを示唆したものとなっている。

数値シミュレーションは、主要内に薬剤が蓄積したことによる、X線の腫瘍付与エネルギー上昇(直接効果)および人体透過エネルギー変化(造影効果)の評価を目的とし、モンテカルロコードegs5を用いて実施した。解析の結果、腫瘍内に金コロイドが重量濃度1%で蓄積した場合、骨と同程度のコントラストでX線撮影されうるということが判明した。

## 参考文献

- [1] 作美明他、本プロシーディングスFP26
- [2] 山崎淳他、本プロシーディングスFP03
- [3] 坂本文人他、本プロシーディングスFP74
- [4] 夏井拓也他、本プロシーディングスTP50
- [5] M.Uesaka et al., THPMN035, Proc. of PAC2007.