

Linac and Laser 2008 at University of Tokyo, Professional school

M. Uesaka^{1,A)}, K. Koyama^{A)}, A. Sakumi, T. Ueda^{A)}, A. Yamazaki^{A)}, E. Hashimoto^{A)}, A. Maekawa^{A)}, T. Yamamoto^{A)}, T. Natsui^{A)}, K. Li^{A)}, K. Miyoshi^{A)}, K. Kanbe^{A)}, A. Mori^{A)}, S. Hirai^{A)}, Y. Muroya^{A)}, Y. Katsumura^{A)}, F. Sakamoto^{B)}, T. Hosokai, A. C) Zhidkov^{D)}, N. Nakamura^{E)}, M. Yamamoto^{E)}, J. Kusano^{E)}, A. Itoh^{E)}, E. Tanabe^{A,E)}

A) Nuclear Professional School, School of Engineering, University of Tokyo

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

B) Akita National College of Technology

1-1 Iijima-bunkyo, Akita, Akita, 011-8511, Japan

C) Photon Pioneers Center in Osaka University

2-1, Ymadaoka, Suita, Osaka, 565-0871, Japan

D) Central Research Institute of Electric Power Industry.

E) Iwado-kita, Komae, Tokyo, 201-8511, Japan

E) Accuthera Inc.

2-7-6, Kurigi, Asao, Kawasaki, Kanagawa, 215-0033, Japan

Abstract

We have been developing a compact-sized cartridge-type cathode exchanging system installed in BNL-type IV photocathode RF gun. We propose the Na₂KSb cathode, which has possibility to drive by visible light of 400nm (violet range). We tested the cathode and obtained the quantum efficiency of 1% at the wavelength of 266nm. The lifetime of T1/2 is more than 100 hours surrounded at the vacuum pressure of 2×10^{-8} Torr

We are also developing a compact Compton scattering X-ray source to apply to the medical application. X-band (11.424GHz) 3.5-cell thermionic cathode RF electron gun is adopted as an electron beam injector. We chose Nd:YAG laser which can switch a wavelength and energy (532nm/1.4J, 1064nm/2J) as a photon source to collide the electron beam. New two key ideas are contained in a new gun. First, choke structure is adopted as an RF interceptor, which allows spring to have only to role as a stabilizer of the cathode rod, therefore stable operation will realize. Second, cylindrical waveguide is adopted as the coupler for feeding RF to the cavity. It also enables the gun to operate with few RF problems. In this presentation, we will report the details of new X-band thermionic cathode RF-gun and experimental results on cavity property measurement.

We are developing non-destructive testing (NDT) system with 9.4GHz X-band Linac. This system adopts low power magnetron for RF source, so total size is very compact. Now, we start X-ray imaging. In this paper, we describe the detail result of these experiments.

東大原子力ライナック・レーザー施設現状報告2009

1. はじめに

東大原子力専攻では、Sバンドツインライナック、レーザープラズマライナック、Xバンド医療用小型ライナック、非破壊検査用950keVライナックとがん治療用6MeVライナックを設置している。

Sバンドツインライナックは全国共同利用マシンとして、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いられるとともに、医療用小型加速器要素技術開発、極端パルス測定のための要素試験の利用が行われるようになった。

2. 共同利用状況

平成20年度は新規課題1つを含む合計11個の共同利用課題が採択された。そのうち、ビーム物理系5件、利用系8件である。表1に課題一覧を示す。

2. Sバンドツインライナック

東京大学では高い量子効率を持ち、400nm (Ti:Sa レーザーの2倍高調波) の可視光で駆動するNa₂KSbカソードの導入を計画している。そこで、酸素・水分に対する高反応性半導体カソードを使用するためのカードリッチ型カソード交換システムの導入以降、様々な問題が生じている。

このシステムは、カソード交換可能なRF電子銃端板、カソード交換装置、及びカートリッジ管から成る。Spring-8との違いはカートリッジ管を保管しておくリボルバーがない点である。カソード交換可能なRF電子銃端板とは、通常の端板にプラグ挿入用の孔を開けたものである。

このシステムの機構上の問題で、以前のMgカソード用端板の後ろについていた冷却管が取り除かれて

¹ E-mail: uesaka@nuclear.jp

いる。それぞれの端板の写真を図3に示す。高周波の出力を上げると反射波形の高さが半分になっている。そのため、電場が規定どおりたっていないことが予測される。

反射波形は導波管のQ値と、空洞のQ値の比 β に依存する。端板部の冷却管を取り除いたことで生じる高周波の電磁熱によって、RF電子銃のQ値が変化してしまったことが原因と考えられる。

熱問題を解決するため、冷却管をつけた新しい端板を製作した端板の冷却効果を高めるために銅の割合を多くなるように設計した。そのため、冷却管をカートリッジ型カソード交換システムの機構のうち、カソードの真空を破る鳥口の位置変更した。現在カードリッジ型カソード交換システムの取り付けは終了し、ベーキング中である。今後の予定は、端板熱設計改良を実証して、共振を安定化し、Na2KSbの可視光試験を円滑に実施できる状況を今年度に構築する。

表1：平成21年度共同利用課題一覧

採番	テーマ	代表者
L-1	水溶液の放射線効果の研究	勝村庸介(東京大学)
L-2	パルス&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-3	天然高分子材料等の放射線化学反応機構	工藤久明(東京大学)
L-4	高速応答シンチレータの開発と性能評価	浅野圭介(東北大学)
L-5	医療用小型加速器要素技術試験	浦川順治(KEK)
L-6	高温・超臨海溶液の放射線化学	勝村庸介(東京大学)
L-7	フォトカソードRF電子銃の高性能化	大熊春夫(JASRI/Spring-8)
L-8	レーザープラズママルチビーム研究	上坂充(東京大学)
L-9	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)
L-10	可搬型小型X線源を用いた非破壊検査応用研究	上坂充(東京大学)
L-11	フェムト秒電子パルスに対するCT応答計測	渡部貴宏(JASRI/Spring-8)
L-12	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電子線照射効果	寺井隆幸(東京大学)
S-1	フェムト秒ライナックのためのマシンスタディ	上坂充(東京大学)

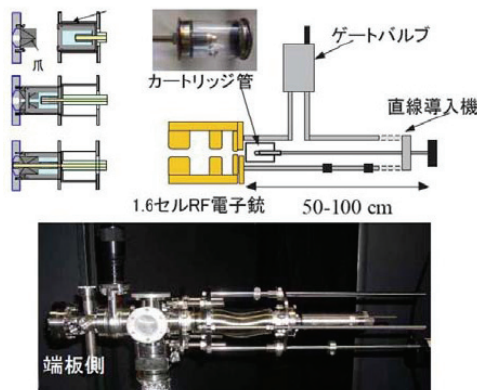


図1：カートリッジ型カソード交換システム概略図

3. レーザー・プラズマライナック

これまでに12TW、50fsのチタンサファイア・レーザー（波長800nm）を用いたレーザープラズマカソード実験を行い、加速電子のエネルギー、電荷量、方向のレーザー・プレパルス依存性などを報告する

とともに、レーザー光軸に平行な0.2Tの外部磁場をプラズマに印加することによって電子ビーム集束と高い出射方向安定度を持った電子ビームの発生に成功した^[1]。初期電子入射制御と安定加速を目指して、磁場を0.3Tから1Tに強くして、(1)明確なガイドコーンの形成、(2)メインパルスの約十ピコ秒前にプレパルスを導入してプラズマチャンネル形成と電子加速実験を実施した。実験に用いたレーザーのパワーは7TWでパルス幅が50fs、集光強度は $1.8 \times 10^{19} \text{ W/cm}^2$ である。

強磁場(1T)を印加した場合においても、以前の実験と同様にナノ秒プレパルスで加熱されたプラズマは衝撃波を形成しながら焦点から周囲に向かって膨張する。強磁場中での膨張プラズマは以前よりも広い領域で磁化プラズマとして振る舞う。その結果、図2(a)の寸法指標0.2mm付近に見られるように、明瞭なプラズマコーンを形成できた。この時の電子のエネルギースペクトルは、以前の我々の報告[5]と同様熱的であった。その様子を図3(a)に示す。レーザーのパルス圧縮器を最適条件から外して、磁場強度を1Tにしてナノ秒プレパルスを導入した状態で、メインパルスに約10ps先行して強度比が約 10^{-4} のピコ秒プレパルスを導入した。ピコ秒プレパルスの導入によって図3(a)のコーンの右側に見られるように細いプラズマチャンネルが形成された。プラズマチャンネルの長さは、超音速ジェットの高さを大きくするにつれて長くでき、最長はノズルの形状で制限される4mmであった。

プラズマチャンネルが形成されると、電子のエネルギースペクトルは熱的な形から特定のエネルギー領域に集中した準単色スペクトルに変化した。図2(b)と(c)に示すようにチャンネルの長さにはほぼ比例して加速エネルギーが高くなった。

これらの結果から、プラズマコーンはプラズマ波の破碎による初期電子入射に寄与し、入射された電子はチャンネル中に励起されたプラズマ波に捕えられて加速されたものと考えられる。すなわち、強磁場とピコ秒およびナノ秒プレパルスの導入によって「二段加速」が可能になった事を示唆している。

本実験のように単焦点・低F数($f=178\text{mm}$, $F/3.5$)で集光しても細くて長いプラズマチャンネルが形成されたのは、コーン中心付近のプラズマの凹レンズ作用によってピコ秒プレパルスの焦点距離が延ばされた事と磁場による半径方向電場の一時的な維持が原因であったと考えられる。シミュレーションは、ピコ秒プレパルスによって高温に加熱された電子は中心軸から遠くまで移動できるが背景の比較的低エネルギーの電子は磁気圧によって中心軸付近に戻る時間が遅れるので瞬間的に半径方向静電場が発生する事と、半径方向電場によってでイオンが外に向かって移動し排除されてチャンネルが形成されることを示している。

2. Xバンドライナック

3.2 逆コンプトン散乱X線源

本装置においては、RF gunからの電子ビーム発生部分がたびたび問題になってきた。特に、カソードロッドを支えるスプリング部分が破損するという不具合が何度も起こっていた。図2にgunのカソード部分を示すが、この金属スプリング部分が破損しカソードロッドが偏芯して放電が頻発してしまっていた。もっとも初期のgunではSUSのスプリングを採用してしまっていたため、SUSが融解し空洞内にスパッタしてしまい、空洞内部を汚染してしまった。スプリングの材質をタングステンに変更してからは融解することはなくなったが、スプリングが切れてカソードを支えられないということは、依然として問題になっていた。タングステンスプリングの破損原因はRFヒータによる熱による材質の変化が考えられたので、スプリング部分に直接RFが当たらない構造に変更することを考えた。

カソードロッド部分は同軸構造になっている。そこにRFが進入しないような構造としてチョーク構造を採用した。チョーク構造の設計は電磁場計算コードSUPERFISHを用いた。計算によってカソードロッドの同軸構造のスプリング側に進む電磁場がなくなるようなチョーク構造寸法を割り出した。また、この結果からカソードロッド部分の電場強度をグラフにして、旧構造との比較を行ったものを図4に示す。図4より明らかなようにスプリング部分にかかるRFが格段に小さくなった^[2]。今後、最適なマグネット調整によりビームダンプまでのビーム輸送を達成させたいと考えている。

3.1 非破壊検査ライナック

3.1.1 状態監視保全

可搬型Linacと同期回路による回転機のリアルタイム撮影で静止画像が取得できるという原理実証を行った。これまでの実証試験においては試験体として状態監視保全検査対象となっている玉軸受けを使用した。玉軸受けは内輪と転動体の回転数が違うため、どちらに同期させたいかによって方法が異なる。内輪に同期させる場合であれば従来の方式であるレーザー光を用いた手法で十分である。しかし、転動体に同期させる場合は転動体の公転周期に合わせる必要がある。そこで、電磁センサーを使用してX線同期画像撮影を行った。その結果を図5に示す。転動体を区別できるが、若干のジッターが存在し、転動体輪郭部がぼやけている。このジッターを軽減するための同期信号取得法を検討する必要がある。

3.1.2 高エネルギー準2色X線ディテクタの開発

物質探知分野で利用されている物質判別手法の一つとして準2色X線方法が挙げられる。具体的準2色X線手法は幾つかあるがフィルターを線源の前に装着す

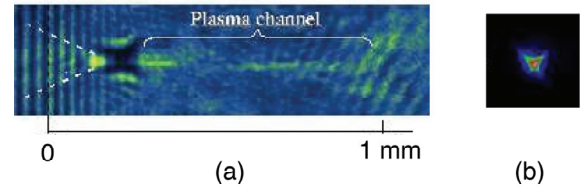


図2：(a)ノズルが1mmの場合のプラズマのシャドウグラフ。(b)電子ビームの横方向強度分布。

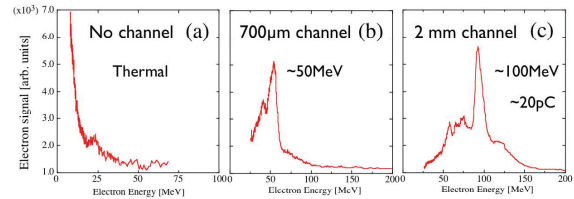


図3：電子のエネルギースペクトル。(a)psプレパルス無し。(b)psプレパルス導入、チャンネル長0.7mm。(c)psプレパルス導入、チャンネル長2mm。

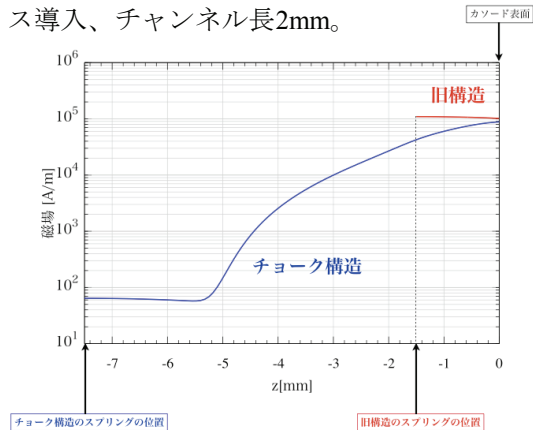


図4 チョーク構造を採用した新RF gunと旧RF gunとの比較

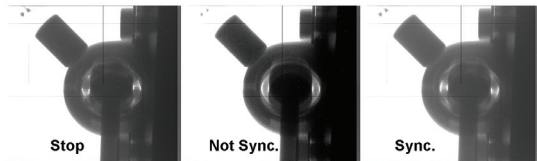


図5：リアルタイムイメージング

る方法とシンチレータアレイディテクターを使用する方法が代表的である。これらの方法の利点は運転中、加速器を操作することなく準2色X線を発生させることができる。Monte carlo simulationによるシミュレーションを行い、シンチレータの寸法と構成成分、構造などの最適値を決めた。今後、実験を通して理論値と実験値を比較検討を行っていきたいと考える。

参考文献

- [1]T. Hosokai, et. al., Phys. Rev. Lett. 97 (2006) 0570 04.
- [2]谷口善博, 修士論文, 東京大学 (2009)