

Thermionic Cathode X-band RF Gun for a compact inverse Compton scattering Hard X-ray source

Atsushi FUKASAWA^{*1}, Katsuhiro DOBASHI², Tatsuo KANEYASU¹, Fumito SAKAMOTO¹, Haruyuki OGINO¹,
Tomohiko YAMAMOTO¹, Mitsuru UESAKA¹,
Junji URAKAWA³, Toshiyasu HIGO³, Mitsuo AKEMOTO³ and Hitoshi HAYANO³

¹UTNS: Nuclear Professional School, the University of Tokyo
2-22, Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1188 JAPAN

²NIRS: National Institute for Radiological Sciences
4-9-1, Anagawa, Inageku, Chiba-shi, Chiba, 263-8555 JAPAN

³KEK: High Energy Accelerator Research Organization
1-1, Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801 JAPAN

Abstract

Compton scattering hard X-ray source for 10-40 keV which consists of an X-band (11.424 GHz) electron linear accelerator and YAG laser is under constructing at Nuclear Engineering Research Laboratory, the University of Tokyo. This work is a part of the national project on the development of advanced compact medical accelerators in Japan. National institute for Radiological Sciences is the host institute and the University of Tokyo and High Energy Accelerator Research Organization (KEK) are working for the development of the X-ray source. Main advantage of our scheme is to produce tunable monochromatic hard (10-40 keV) X-rays with the intensities of 10^8 - 10^9 photons/s and the table-top size. In addition, dual energy monochromatic hard X-ray source can be realized that generate two monochromatic hard X-ray by turn with high (up to 10 pps) repetition rate by one X-ray source.

The X-ray yield by the electron beam and Q-switched Nd: YAG laser of 2.5 J/10 nsec is 10^7 photons/RF pulse (10^8 photons/sec in 10 pps). X-band beam line for the demonstration is under constructing. The experiment on the X-band thermionic cathode rf gun is performing from this spring, the status on the rf gun experiment with high power rf will be reported.

小型逆コンプトン散乱硬 X 線源のための 熱カソード X バンド RF 電子銃の実証試験

1. はじめに

X 線は医療、生命科学、材料科学など広い分野で利用されている。例えば医療関係では、定期検診や、非切開手術での人体透視、癌細胞への直接照射による治療などさまざまな用途がある。しかし放射線障害の問題は避けて通れず、医療現場ではこれを含めたさまざまな患者への負担の低減は大きな課題である。単色 X 線は、上記のように既存技術の高精度/高度化だけでなく、新しい技術への期待もある。2 色 X 線 CT がその例であり、これは、エネルギーの違う 2 種類の単色 X 線を用いて、物質のエフェクティブな元素番号の分布を得ようとするものであり、単色 X 線は必要不可欠である。しかしながら放射光施設は一般的には高額巨大な装置であり、一般の大学の研究室や病院においそれと導入できるものではない。GeV 程度のエネルギーの電子貯蔵リングで生成できる X 線に相当するようなエネルギーの X 線を生成可能な超小型の硬 X 線源を実現するための方策として、大強度のレーザー光と電子ビームを衝突さ

せてコンプトン散乱により高エネルギー X 線を得る方法がある。我々は、文部科学省先進小型加速器要素技術の普及事業(取りまとめ放射線医学総合研究所)に参画し、従来使用されて来た S-band (2856 MHz、波長 10.5 cm)の 1/4 の波長である X-band (11.424 GHz、波長 4.2 cm)リニアックを用いた、より小型の硬 X 線源を開発している^[1-4]。本研究の最終目標である、医療用小型単色可変硬 X 線源装置は Fig.1 のような、ガントリーに小型の X バンド線形加速器とレーザーを装備し、レーザー電子ビーム衝突により(準)単色硬 X 線を生成するようなものである。

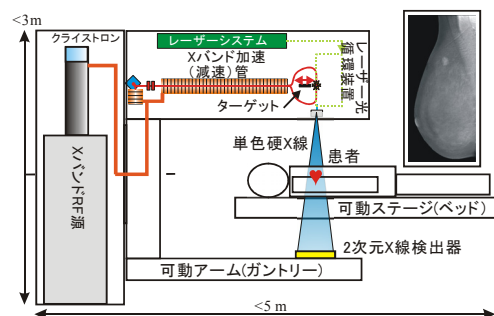


Fig.1 医療用単色硬 X 線源の概念図 (最終目標)

^{*}E-mail: Fukasawa@utnl.jp

最終目標を実現すべく、Fig.2 のような実証用ビームラインの構築を、東京大学大学院工学系研究科原子力専攻にて進めている。本稿では X-band 熱カソード RF 電子銃高電界試験の進行状況について報告する。

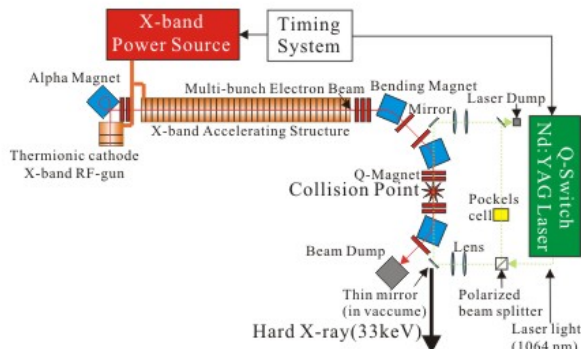


Fig.2 コンプトン散乱実証用ビームライン

2. 3.5 セル X-band 熱カソード RF 電子銃

我々が採用している X-band 熱カソード RF 電子銃は、石川島播磨重工業製 3.5 セル、pi-mode のものを採用している(Fig.3)。この RF 電子銃の基本パラメータを表 1 に示す。

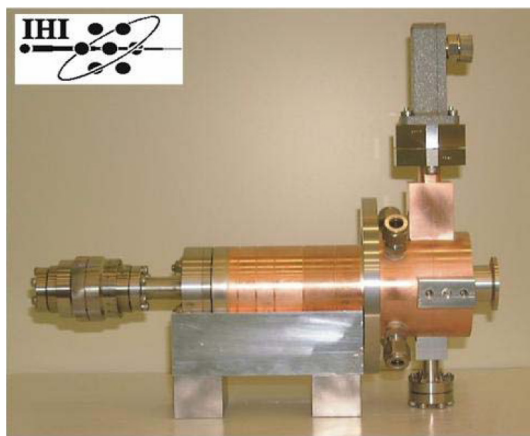


Fig.3 3.5 セル X-band 熱カソード RF 電子銃

Table 1: 3.5 セル X-band 熱カソード RF 電子銃基本パラメータ

Resonant Frequency	11.424 GHz
Transit Time Factor	0.703
Shunt Impedance	2.46 MΩ
Q value	9350
Wake Loss Parameter	4.72 V/pC

2-1: ガン出力のビームパラメータ

RF 電子銃でのビーム試験に先立ち、ビームトラッキングによるビームパラメータの数値計算を行った。

シミュレーションにはトラッキングコード PARMELA を用いた。

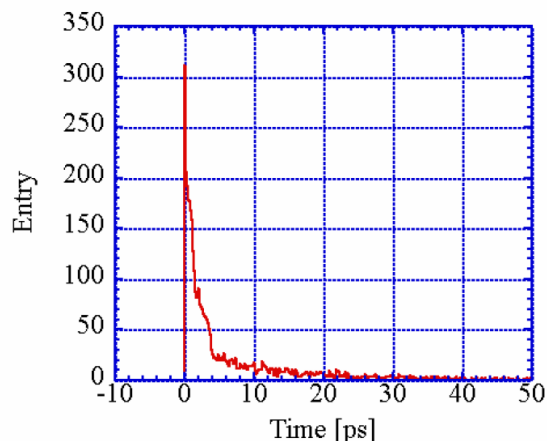


Fig.4 α マグネット出口におけるバンチ長 (PARMELA による計算結果)

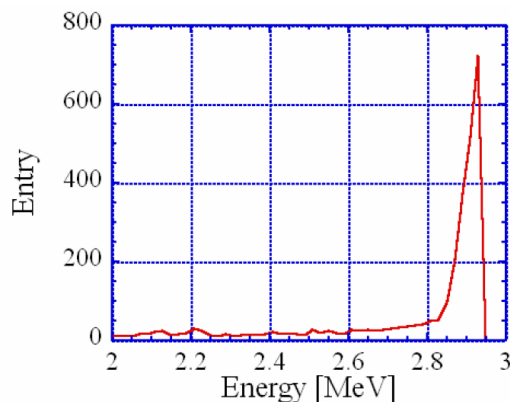


Fig.5 α マグネット出口におけるエネルギースペクトル(PARMELA による計算結果)

Fig.4 と 5 はそれぞれ、電子銃直後にある α マグネット出口における、電子ビームのバンチ長及びエネルギースペクトルの計算結果を示している。 α マグネットにより、エネルギー選択と圧縮が行われ、2.9 MeV, 2 psec (rms)のビームが得られることが分かる。

3. RF 電子銃高電界試験

これまでに、X-band クライストロンの RF エージングを行ってきており、最高 RF 出力 25 MW, 600 nsec (5 pps)を達成している。これまでに、RF 電子銃へのパワー投入を開始しており、約 1 MW, 250 nsec の RF が電子銃に投入されている。これと平行して、RF 電子銃ビーム試験用のビームライン構築も行った。Fig.6 にビームラインの様子を示す。 α マグネットから出た電子ビームは、ビーム輸送系である電磁石群を通過後、ビーム診断用のワイヤスキャナーを通過し、90° 偏向電磁石により地面方向にダンプされる。

Fig.7 に、現在行っている RF 電子銃エージング体

系図を示す。

RF ガンエージングにおける RF 波形（オシロスコープ上の波形）を Fig.8 に示す。この図において、各チャンネルは上から、RF ガンへの入射 RF、ガンからの反射波形、高周波窓における発光強度（光電子増倍管による観測）を示している。光電子増倍管からのシグナルと、導波管及びガンでの真空度に関値を設定することで、インターロック保護回路を形成している。今月中を目処に、ビーム発生試験が開始される見込みである。今後、ガンからの電子ビーム発生試験を行い、加速管のエージング、ビーム加速試験、コンプトン散乱による X 線生成試験と、順次実験を進行させていく予定である。

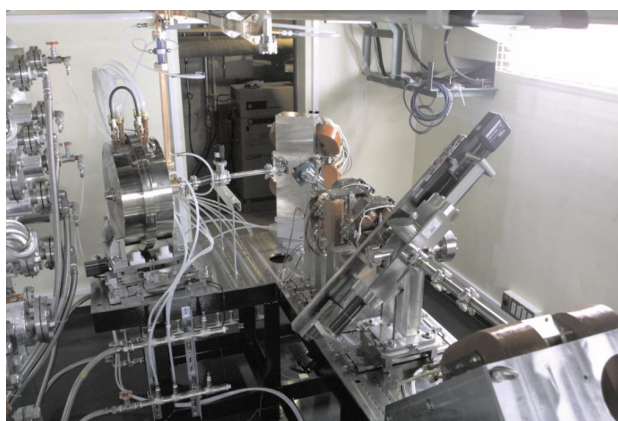


Fig.6 X-band 熱カソード RF 電子銃試験用ビームライン（下流側から）

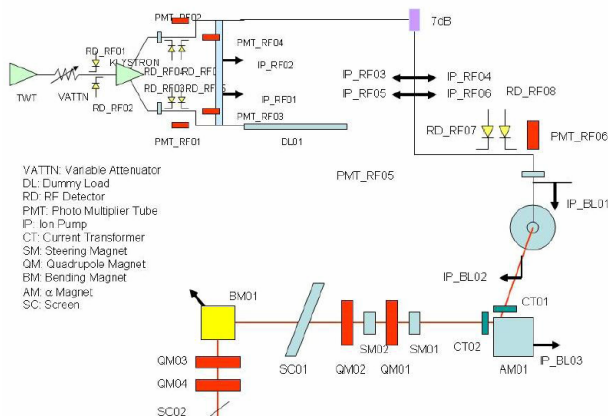


Fig.7 RF 電子銃エージング体系模式図

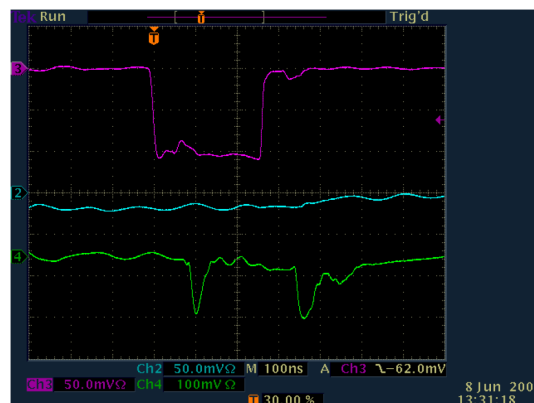


Fig.8 RF ガン RF 出力波形。各チャンネルは、上からクライストロン出力波形、RF ガンからの反射波形、RF 窓での発光強度（光電子増倍管による観測）を示している。

4. まとめと今後の予定

我々は、文部科学省先進小型加速器の要素技術の普及事業(取りまとめ放射線医学総合研究所)に参画し、単色(2色)X線イメージングや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-band 線形加速器を用いたレーザー電子ビーム衝突による小型硬X線源を開発中である。

X-band システムによるビーム加速とそのビームによるX線生成を実証するために、実証試験用ビームラインを東大原子力施設内(茨城県東海村)に構築中である。これまでに、X-band 熱カソード RF 電子銃の高電界試験を行ってきており、現状で 1 MW, 250 ns のパワーが電子銃に投入されている。今後ビーム発生試験を行い、諸ビームパラメータの計測を順次行っていく予定である。

謝辞

この研究は、文部科学省先進小型加速器の要素技術の普及事業(取りまとめ放医研)によって進められている。また、本研究の一部は、独立行政法人科学技術振興機構の委託事業として実施されたものである。

参考文献

- [1]K. Dobashi, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 44(2005)4A pp.1995.
- [2]F. Sakamoto, *et al.*, Proc. of the 7th Symposium on Accelerator and Related Technology for Application. (p. 1-4, 2005, June 9-10, JAPAN)
- [3]K. Dobashi, *et al.*, Proc. of 2nd Annual Meeting of Particle Society of Japan, 21P071(2005)
- [4]F. Sakamoto, *et al.*, Proc. of 2nd Annual Meeting of Particle Society of Japan, 20P095(2005)