

Beam Measurement of X-band 11.424 GHz Linac for Compton Scattering X-ray Generation

Hirotooshi Masuda^{#,A)}, Takuya Natsui^{A)}, Azusa Mori^{A)}, Lee Kiwoo^{A)}, Mitsuru Uesaka^{A)}, Fumihito Sakamoto^{B)}

^{A)} Nuclear Engineering and Management, University of Tokyo

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

^{B)} Akita National College of Technology

1-1 Bunkyo-machi, Iijima, Akita city, Akita JAPAN 011-8511

Abstract

We are developing an X-band linac system for monochromatic X-rays source. The monochromatic X-ray is obtained by Compton scattering. Our system has an X-band (11.424 GHz) 3.5-cell thermionic cathode RF gun, traversing wave accelerating tube and a Q-switch Nd:YAG laser with a wavelength of 532 nm. We adopt a laser pulse circulation system. The RF gun can generate multi-bunch electron beam. We aim to generate 1 μ sec 30 MeV electron beam and collide it to circulated laser pulse. We succeeded in transporting electron beam to beam dump and preparing for Compton scattering experiment.

コンプトン散乱 X 線源用 X-band 11.424 GHz Linac のビーム測定

1. 東京大学 Xband コンプトン散乱 X 線源

東大の単色 X 線源は、電子源として X バンド 3.5 セル熱陰極 RF 電子銃を用いて、3 MeV のマルチバンチ電子ビームを発生させ、X バンド進行波加速管により 30 MeV まで加速し、レーザー (Nd: YAG, 波長: 1064 nm) と衝突させるというシステムとなっている。主な特徴は以下の二つで、一つは、電子加速周波数に従来使用されてきた S バンド (2,856 MHz) の 1/4 の波長である X バンド (11.424 GHz) を使用している点、もう一つは、1 μ s のマルチバンチ電子ビームと 10 ns のロングパルスレーザー周回システムを組み合わせている点である。これらにより、電子加速装置のサイズの小型化、さらに両者の衝突の頻度を増し最大で 10^9 photons/s まで増幅する設計となっている。その反面、コンプトン散乱 X 線の強みである短パルス性はシングルバンチを採用した場合に比べて劣る。

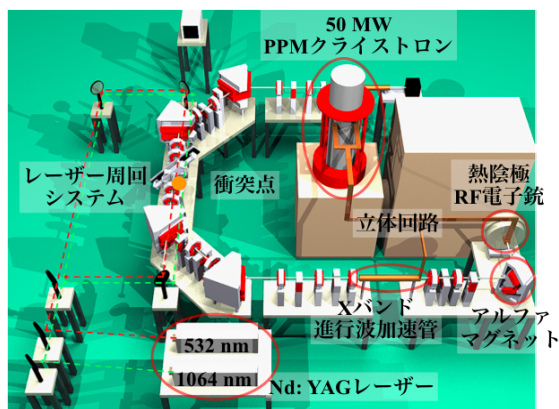


図1 東大 Xband コンプトン散乱 X 線システム
当研究室では以前より X バンド小型ライナックのコンプトン散乱による単色 X 線源の研究を行っ

ている。単色 X 線源の実用化は、既存技術の高精度化および患者の負担の軽減に寄与するばかりでなく、2 色 X 線 CT など新しい診断・治療技術への進展も期待されている。現在、単色 X 線の利用は、シンクロトロン放射光施設において放射光を分光結晶により単色化して行われている。単色性に優れ、かつ大強度であることから研究での利用が進んでいるが、放射光施設は大型で費用・場所の制限から医療用・産業用単色 X 線源としての普及は困難と考えられる。RF 電子銃を設計・搭載し、初めて X バンド熱陰極 RF 電子銃での安定した MeV 級電子ビームの発生を達成した。

表1 世界各国のコンプトン散乱 X 線源

	電子ビーム エネルギー	レーザー エネルギー	発生 X 線 エネルギー	X 線強度
東大	30 MeV X-band	1.4 J/Pulse 10 nsec	20-40 keV	10^{8-9} photons/s
SLAC	60 MeV- X-band	100 mJ/pulse 50 fsec	20-85 keV	10^8 photons/s
KAERI	10 MeV UHF	2 nJ/pulse 100 psec	1.8 keV	10^6 photons/s
NSC	43-225 MeV UHF	1 mJ/pulse 50 psec	6-900 keV	10^{13} photons/s
LLNL "T- REX"	120 MeV S-band	Unknow n UV laser	~1 MeV	Unknow n
MXI	~75 MeV S-band	1.5 J/pulse 8 psec	8-100 keV	10^9 photons/8ps
BNL-ATF	60 MeV- S-band	~2 J/pulse 10 psec	~8 keV	10^{12} photons/s

2. ビーム衝突実験のシステム構築

2.1 ビームタイミング系の調整

電子ビームとレーザーの衝突実験のためにまず、二つのタイミングを調整する体型を整えた。シグナルジェネレータからの周波数 357MHz、電力 6 dBm の CW (連続波) のマイクロ波を分岐させ RF 系とパ

ルスタイミング系へ伝える仕組みとなっている。

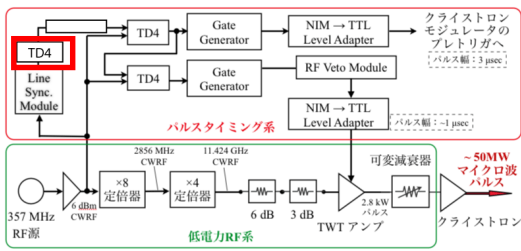


図2 ビームタイミング系

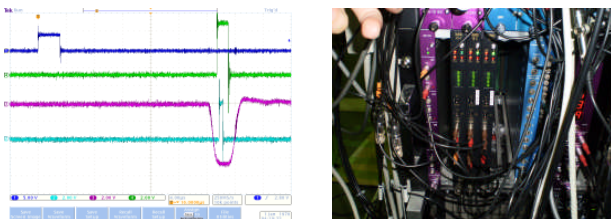


図3 タイミングの調整とTD4

今回新たに TD4 をパルスタイミング系に組み込み、衝突のタイミングを組み込んだ TD4 一つで調整することが出来る体型を構築した。

2.2 ビームサイズ調整と単色 X 線計測方法

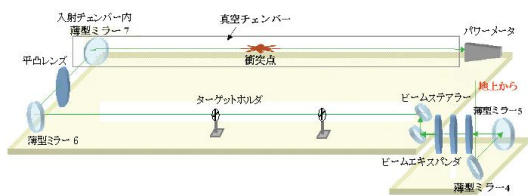


図4 レーザー周回システム(シングルパス)

電子ビームの衝突点におけるパルス幅がまだ短いため、レーザーパワーの減衰を極力抑える透過損失の少ないシングルパスのシステムに変更した。計測には NaI シンチレーション検出器を用い、そのためのコリメータの作成と遮蔽を鉛によって行った。

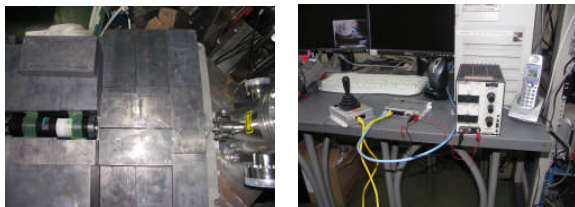


図5 コンプトン散乱実験システム構築

3. 実験

3.1 RF エージング・電子ビーム発生

RF エージングとは電子銃などの高周波機器に RF を供給するプロセスのことであり、低電力から次第に

電力を上げていく。電子銃の空洞内壁の表面には鏡面加工でフラットに見えるが RF レベルでは微少な突起が存在する。微少な放電によって表面を電氣的になめらかにし、最終的に電子銃には電力 6 MW、パルス幅 1 μ sec を供給することを目指す。図6に GUN での RF 測定結果を示した。3 MW、パルス幅 290 ns、の RF パワーが供給されていることを確認した。

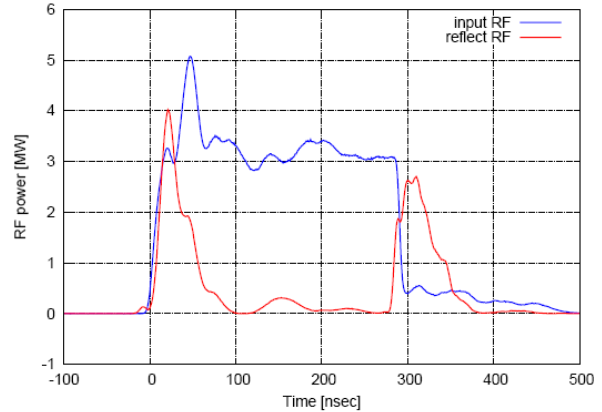


図6 GUN での RF 測定結果

3.2 電子ビーム輸送

コンプトン散乱 X 線現用 X-band システムにおいてビーム試験を行い RFgun のビームのスペクトルを測定した。電子銃後のビームエネルギーは、アルファマグネット内の可変スリットを用いて測定する。結果ビームエネルギーは最大 2.4MeV であり、2.3MeV にピークを持つことが分かった。これは RF が 3 MW の Gun 入力とするシミュレーション結果よりも 0.1MW ほど低い結果であった。

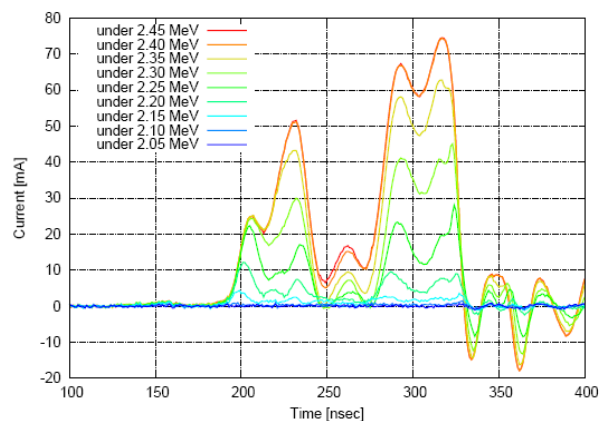


図7 RFgun のビームのスペクトル

クライストロンからの出力 RF パワーの測定結果を示す。パワーの揺らぎが見て取れる。さらに RFgun への供給 RF 電力を測定し、発生ビーム電流の測定結果と比較すると、揺らぎの周期が共に一致していることが分かる。

