

STABILITIES OF FEMTOSECOND ELECTRON BEAM GENERATED FROM PHOTOCATHODE LINAC

Koichi Kan¹, Jinfeng Yang, Takafumi Kondoh, Yoichi Yoshida

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University, 8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

Abstract

A femtosecond electron beam was produced by a photocathode linac which was constructed by a photocathode RF gun, a linear accelerator and a magnetic bunch compressor. The beam stabilities, such as pointing of beam profile, bunch charge, laser power, RF power and beam energy, were investigated. The fluctuations of the laser power and the bunch charge were obtained to be 1.1% and 3.9% in rms, respectively. The fluctuations of energy and energy spread were obtained to be 0.1% and 0.6%, respectively. These fluctuations were almost caused by the drift of the accelerating RF phase in the gun and the linac. The drift of the accelerating RF phase was estimated to be about 1° .

フォトカソードRF電子銃ライナックにおけるフェムト秒電子ビームのスタビリティの研究

1. はじめに

パルスラジオリシスとは電子線と分析光用のレーザーを同時に物質に入射し、吸光度を測定する事により、放射線化学初期過程を解明する非常に有効な手段である[1, 2]。フェムト秒高時間分解能のパルスラジオリシスを実現するために、阪大産研ではフォトカソードRF電子銃ライナックと磁気パルス圧縮器を用いて、98フェムト秒の電子線の発生に成功している[3-5]。パルスラジオリシスのS/Nは電子ビームの安定度、フェムト秒のレーザーの安定度に依存している。フェムト秒レーザーを用いたダブルパルス法によりパルスラジオリシスのS/N比が1.7%と得られた。更に安定化を行うためには、電子ビームの電荷量の変動も1.7%程度に抑えることが必要不可欠である。そこで、電荷量の変動を抑えるために、電子ビームの電荷量、ポインティングなどの安定性を測定し、パルスラジオリシスのS/Nの安定化を図った。

2. レーザーフォトカソードRF電子銃ライナック

本ライナックは、フォトカソードRF電子銃、S-バンド進行波型ライナック、磁気パルス圧縮装置、40MWクライストロンから構成されている。RF電子銃はS-バンドの1.6セルの加速空洞をもち、カソードの材質は無酸素銅である。電子ビームの発生には、Nd:YLFレーザーの4倍高調波(266nm)を用いている。レーザーをカソードに照射すると、光電効果により発生した電子は空洞内の高電場で加速される。生成された電子ビームは電子銃下流に設置されたライナックを用いてさらに32MeVまで加速され、エネル

ギー変動をかけられる。加速された電子ビームは偏向電磁石2台、四極電磁石4台からなる磁気パルス圧縮装置に入り、パルス圧縮される[図1]。

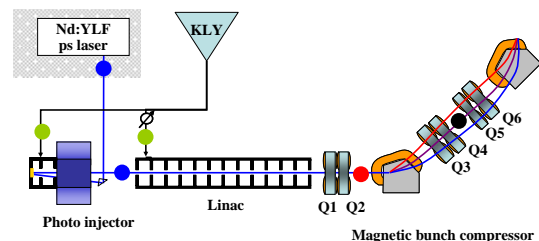


図1 フォトカソードRF電子銃ライナック

3. 測定結果と考察

RF電子銃では、空洞内の電場が高いため、運転時、空洞の温度上昇により構造体に変形し、空洞の共振周波数がずれ、電子ビームの電荷量やエネルギーの変動となる。そのため、カソードプレート、フルセル、ハーフセルにそれぞれ冷却配管を設備され、高安定化の冷却循環装置を用いてRF電子銃の空洞の温度を $37 \pm 0.1^\circ\text{C}$ に制御を行った。また、加速RFを安定化するために、低位相ノイズのRF発生器(ROHDE&SCHWARZ SMJ100A)を用いた。

本ライナックには、ビームのポインティングの安定度を、加速管出口に設置したスクリーンにより測定した[図1赤丸]。電子銃の出口に電荷量測定用のコアモニターを設置し、電荷量の変動の測定を行い、レーザーパワーの変動をフォトダイオードにより計測を行った[図1青丸]。電子銃におけるRFの反射波と加速管におけるRF進行波の変動を方向性結合器により測定を行った[図1橙丸]。ビームのエネルギー

¹ E-mail: koichi81@sanken.osaka-u.ac.jp

の変動は偏向電磁石とスクリーンにより測定した [図1黒丸]。それぞれの測定における測定条件は、ピコ秒レーザーの電子銃への入射位相は30°、加速管での加速位相は85°(エネルギー分散：最小)とし、測定時間は60分とした。

3.1 ビームのポインティングの変動

加速管出口におけるポインティングの安定度を測定した。加速管出口におけるビームの重心の変動は60分の測定により、x、yの重心の変動はそれぞれ7 μ m、10 μ mと観測され、測定結果を図1に示す。

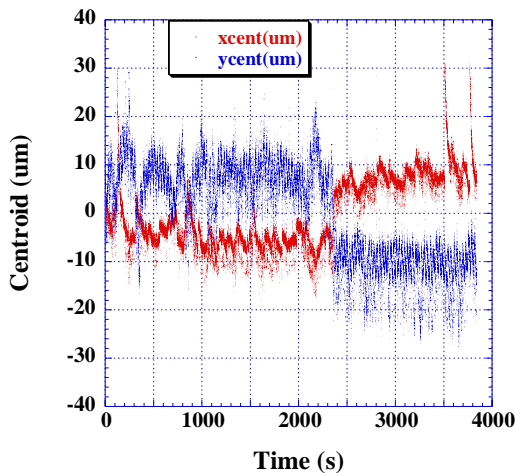


図1 加速管出口における重心の変動

3.2 レーザーパワー(UV)と電荷量の変動

Nd:YLFピコ秒レーザーのパワーと電子銃出口における電荷量の安定度を測定した。レーザーパワーは273.6 \pm 3.1 μ J/pulse、電荷量は1.17 \pm 0.046nCとなり、レーザーパワーと電荷量の変動はそれぞれrmsで1.1%、3.9%と得られた。図2、図3に測定結果を示す。

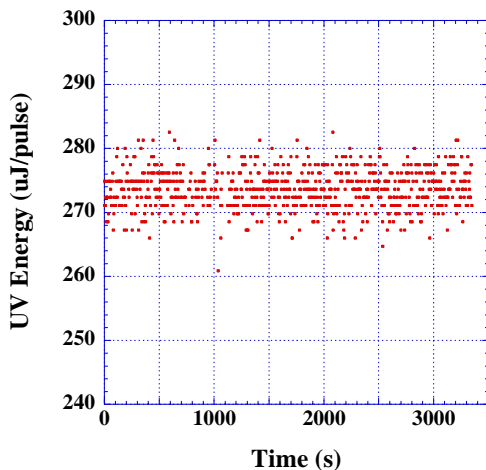


図2 レーザーパワーの変動

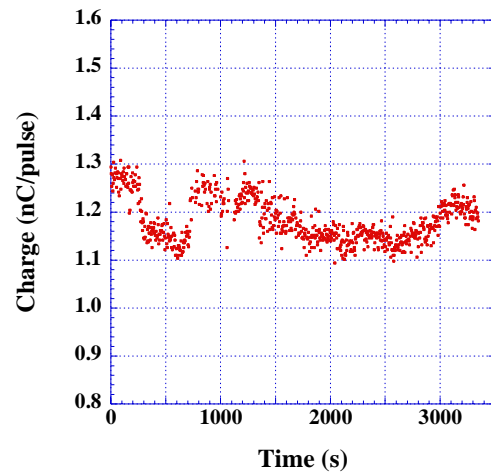


図3 電荷量の変動

3.3 RFパワーの変動

電子銃におけるRFの反射波と加速管におけるRFの進行波の強度を、導波管の方向結合器により測定を行った。それぞれの変動はrmsで0.4%、0.6%と得られた。測定結果を図4に示す。

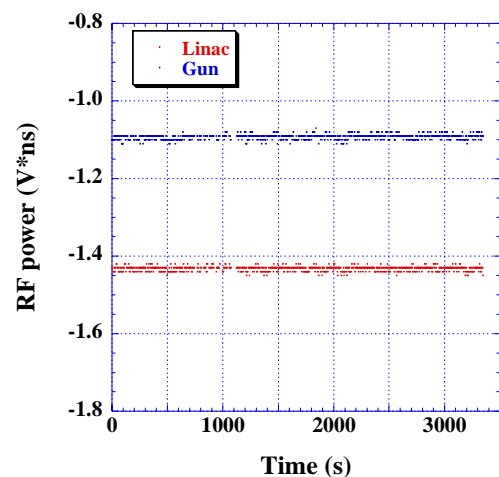


図4 RFパワーの変動

3.4 ビームエネルギーの変動

加速管により加速された電子ビームの安定度の測定を行った。ビームエネルギーとエネルギー分散を偏向電磁石とスクリーンにより測定した。ビームエネルギー、エネルギー分散はそれぞれ27.47 \pm 0.025 MeV、0.593 \pm 0.036%となり、変動はそれぞれrmsで0.1%、6.2%と得られた。それぞれの測定結果を図4、図5に示す。

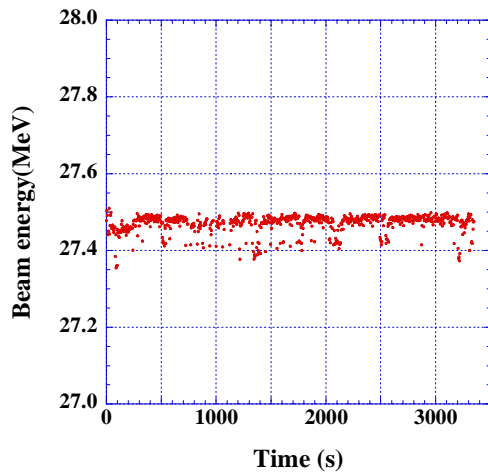


図4 ビームエネルギーの変動

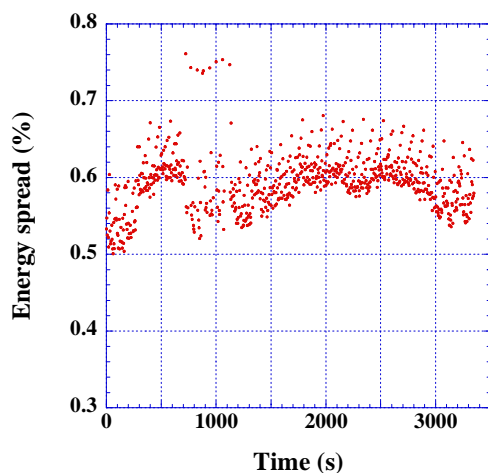


図5 エネルギー分散の変動

3.4 測定結果に対する考察

発生電荷量は電子銃における加速空洞の電界強度に依存し、Nd:YLFピコ秒レーザーの強度変動を無視すると発生電荷量 Q は

$$Q \propto \sqrt{\sin(\theta_g \pm \Delta\theta_g)}$$

と表すことができる。 $\theta_g (=30^\circ)$ は電子銃への入射位相である。また電荷量の変動が3.9%であることから、 $\Delta\theta_g = 0.94^\circ$ と見積もることができた。

PARMELA計算コードを用いたシミュレーションを行い、加速管での加速位相をエネルギー分散が最小となる位相からずらしたときのビームエネルギーの変化の計算を行った。その結果、加速管への入射位相 1° につき0.075%のビームエネルギーの変化が生じることがわかった。実験結果におけるビームエネルギーの変動が0.1%であることから、加速管での加速

位相の変動をシミュレーション結果から見積もると、 1.2° と見積もることができた。

以上より、電荷量の変動から見積もった電子銃での加速位相の変動と、エネルギーの変動から見積もった加速管における加速位相の変動は同じような値になった。つまり、電子銃への入射位相の変動が電荷量、エネルギーへの変動の原因となっていると考えられる。

4. まとめ

レーザーフォトカソードRF電子銃ライナックにおけるスタビリティの研究を行った。60分の測定において、電荷量、ビームエネルギー、エネルギー分散の安定度は、4.3%、0.091%、6.1%と得られた。ビームのポインティングの安定度はxの重心とyの重心の変動がそれぞれ0.44mm、0.028mmとなった。

得られた実験結果から、電子銃と加速管における加速位相の変動は約 1° と見積もられた。この加速位相の変動はクライストロンなどにおけるRF位相の変動が原因であり、圧縮器出口におけるポインティングの変動、電荷量、エネルギー、エネルギー分散の変動が生じている。

今後は、Nd:YLFレーザーとRFの同期については、現在、レーザーのキャビティ長は加速用RFを1/36に分周した79.33MHzのRFとモードロックされ、時間同期ジッターを0.5ps以内に抑えている。そこで、レーザーの高次高調波(79.33MHzの36倍)と加速用のRF(2856MHz)を直接モードロックする方法とRFフィードバックシステムの最適化により、入射位相の変動を 0.24° 以内に抑えることにより、電荷量の変動を1%に抑えることができると思われる。それにより、高s/nのパルスラジオリシスを構築することができる。

参考文献

- [1] Y. Yoshida, et al., Radit. Phys. Chem., **60** (2001), 313-318.
- [2] K. Kozawa, et al., Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. Sect. A **440** (2000), 251-254.
- [3] J. Yang, et al., Proc. of this conference.
- [4] J. Yang, et al., J. Appl. Phys., **92** (2002), 1608-1612.
- [5] J. Yang, et al., Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. Sect. A **491** (2002), 15-22