

## 兵庫県立大学 15MeV 線型加速器 LEENA 施設報告

### PRESENT STATUS OF 15MEV ELECTRON LINEAR ACCELERATOR LEENA AT UNIVERSITY OF HYOGO

橋本智<sup>#, A)</sup>, 小林花繪<sup>A)</sup>, 川田健二<sup>A)</sup>, 皆川康幸<sup>B)</sup>, 竹村育浩<sup>B)</sup> 天野壮<sup>A)</sup>, 宮本修治<sup>A)</sup>

Satoshi Hashimoto<sup>#, A)</sup>, Karin Kobayashi<sup>A)</sup>, Kenji Kawata<sup>A)</sup>, Yasuyuki Minagawa<sup>B)</sup>,

Yasuhiro Takemura<sup>B)</sup>, Sho Amano<sup>A)</sup> and Shuji Miyamoto<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo

<sup>B)</sup> Japan Synchrotron Radiation Research Institute

#### Abstract

The 15MeV electron linear accelerator LEENA at the NewSUBARU synchrotron facility of University of Hyogo has been upgraded towards tunable and high-power tera-hertz (THz) light sources using relativistic electrons. Recently we installed a solenoid coil for electron beam focusing and an OTR monitor for precise beam profile measurement. And also we constructed a THz beam-line for user experiments. In this paper we report these upgrades and recent operation status of LEENA.

#### 1. はじめに

兵庫県立大学高度産業科学技術研究所はニュースバル放射光施設内に小型線型加速器 LEENA を有する[1]。老朽化・旧式化した加速器ではあるが相対論的電子ビームを用いたテラヘルツ光源の開発とその利用に向けて、平成 24 年から加速器の改修を行っている[2-5]。

LEENA 加速器の概要図を図 1 に、主なパラメータを表 1 に示す。熱電子 LaB6 陰極を用いた RF 電子銃で生成した電子ビームはアルファ電磁石で短パンチ化され、定在波加速管で 15MeV まで加速される。直線部には現在スミス・パーセル放射用の金属グレーティングが設置されている。これまでに制御系・モニター系などの更新・高度化を行い、テラヘルツ光源として偏向電磁石からのシンクロトロン放射およびスミス・パーセル放射の観測に成功した[4-6]。

現在はコヒーレント放射による大強度テラヘルツ

光の発生とその利用の実現に向けて更なる加速器の改修を行っているが、装置が抱えるいくつかの問題を解決するためにこの一年間に行った主な改善・高度化は以下のとおり。(1) RF 電子銃下流に水冷式ソレノイドコイルを設置し、空間電荷効果によるビーム発散を補正しビーム輸送効率の改善を図った。(2) ビームプロファイルのより高精度な計測のために OTR モニターの設置と画像処理システムの開発を行った。(3) 加速器遮蔽トンネル壁に貫通孔を設けて、光学系により隣室まで THz 光を導くビームラインを設置し利用実験ができるようにした。

平成 25 年 11 月に定期検査を無事終了したが、平成 26 年 2 月に長年使用していたクライストロン PFN 充電用の高圧電源が故障したため現在修理中である。本報告では最近の LEENA 加速器の改造の概要および運転の現状について報告する。

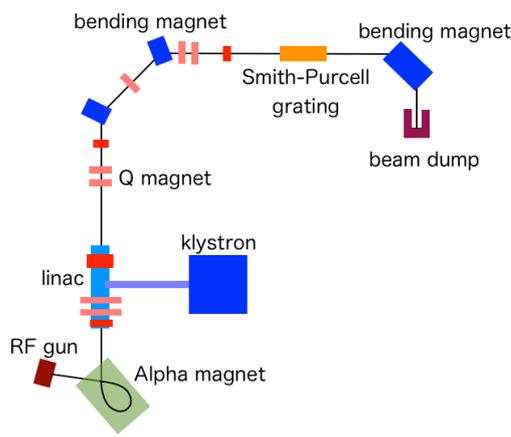


Figure 1: Layout of LEENA accelerator.

Table 1: Main Parameters of LEENA Accelerator

Beam energy	6 – 15MeV
Macro pulse current	100mA
Macro pulse width	5μs
Repetition rate	1-10Hz
RF frequency	2856 MHz
Normalized emittance	< 10mm-mrad
Energy spread	<±0.5%@15MeV
Electron gun	RF gun
Cathode	LaB6 (thermal)
THz radiation sources	Bend, Smith-Purcell
Radius Curvature (BM3)	0.2m

<sup>#</sup> hashi@lasti.u-hyogo.ac.jp

## 2. ソレノイドコイルの設置

ビーム運転上の問題の一つが RF 電子銃直後の低エネルギー領域におけるビームの発散であった。これを解決するためにソレノイドコイルを設計・製作し(図2)、RF 電子銃の10cm 下流に設置した。コイルはホローコンダクタによる水冷型で起磁力 22500AT、最大電流 300A、磁場強度 0.37T である。RF 電子銃カソード表面での漏れ磁場を小さくするために外周は厚さ 5mm の鋼板で覆われる。POISSON を用いた軸対称二次元の磁場分布計算結果を図3に示す。ソレノイドコイルの調整により加速器下流におけるビーム輸送効率の顕著な改善を確認した。



Figure 2: Water-cooled solenoid coil for LEENA.

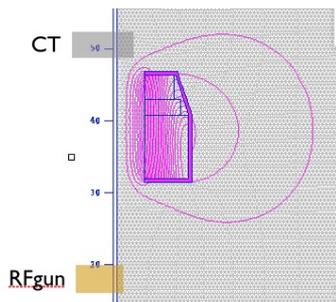


Figure 3: Magnetic field calculated with POISSON.

## 3. OTR モニターの開発

これまでビームプロファイルモニターとして蛍光スクリーンモニターが 3 台設置済みであったが、蛍光スクリーンモニターは残光が大きく、連続使用し

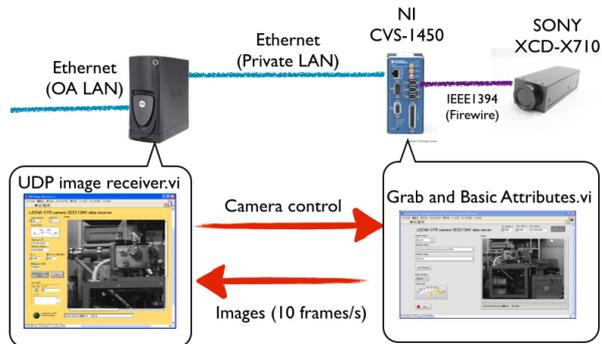
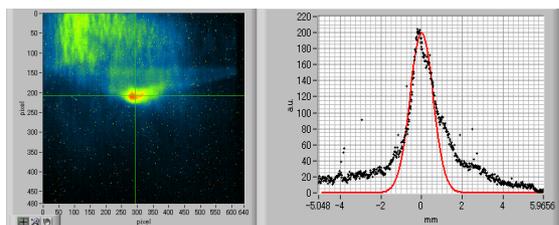


Figure 4: Image acquisition system of OTR.

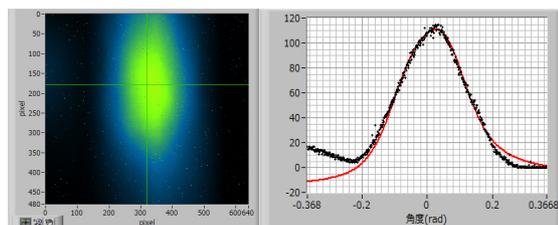
ていると実際のビームサイズよりも見かけ上、大きく見える為、より高精度な計測に向けて新たに OTR(Optical Transition Radiation)モニターを製作し加速器下流に設置した。

厚さ  $12\mu\text{m}$  のアルミニウム薄膜を圧縮空気駆動の直線導入器でビーム軌道に挿入する。発生した OTR 光は水晶結晶窓を通して大気中へ取り出してハーフミラーでビームサイズと角度広がりと同時に計測できる様に二分割した後、二台の IEEE1394 デジタルカメラで観測する。遮蔽室内の二台の CCD カメラは組み込み制御機器 (National Instruments 社製 CVS-1450) に接続し制御される。ビームトリガー信号に同期してマクロパルス  $5\mu\text{s}$  の OTR 光の CCD 画像を取得し、関心のある領域のみを切り取ったデータを PC へイーサネットを経由して UDP にて転送する。データ転送速度は 10 frames/s であるので、マクロパルス繰り返し周波数 10Hz に対応できる。LabVIEW を用いて開発した画像解析アプリケーションにより、リアルタイムでマクロパルス毎のビームサイズ、角度広がり、エミッタンスを計測することができる。

加速器下流に設置した OTR モニターで計測したビームサイズは水平/垂直方向に  $0.8/0.24\text{mm}$  であり、角度広がりには水平/垂直方向に  $52/11.5\text{mrad}$  であった(図5)。正規化エミッタンスは水平/垂直方向に  $13.2/11.5\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$  であり、アルファ電磁石導入前の設計値  $10\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$  とほぼ一致する。今後は OTR モニターの台数を増やしつつ、これらのモニターを用いてビームの最適化を図る予定である。



(a) OTR image focused on the aluminum film and its vertical distribution.



(b) OTR image focused on infinity and its vertical distribution.

Figure 5: Image-processed OTR images and its vertical distributions; (a) beam spot measurements and (b) beam divergence measurements.

## 4. THz ビームラインの建設

発生したテラヘルツ光はこれまで加速器収納部内  
でしか計測せざるを得なかったため、計測器の調整  
の度に加速器を停止してトンネル内に入室しなけれ  
ばならず、手間がかかる上に利用実験は困難であっ  
た。このため、遮蔽コンクリート壁に貫通孔を開け  
て、補助遮蔽を設置した上で二枚の曲面ミラーで集  
光しながらテラヘルツ光を隣の実験室まで取り出せ  
るビームラインを設置した。

テラヘルツ領域のシンクロトロン光は水晶結晶窓  
で大気中に取り出され、大気中を伝搬する。今後、  
窒素パージ可能な仕様に変更していく予定である。  
簡易型とはいえビームラインの建設によりテラヘル  
ツ波のプロファイル計測の他、将来のユーザー利用  
が可能になった。

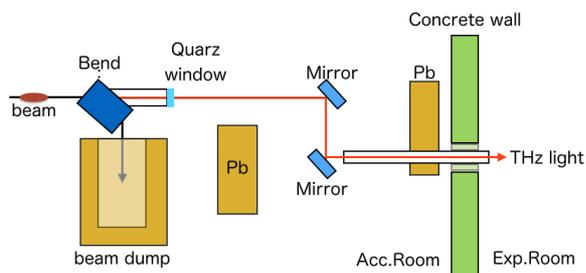


Figure 6: THz beam-line at LEENA.



Figure 7: THz beamline and optical bench in the user experimental room.

## 5. 運転状況と今後の予定

### 5.1 運転状況

平成 25 年 11 月に無事、5 年に一度の施設定期検  
査に合格したが、その後徐々に出力ビーム電流が低  
下し、翌年 1 月には全くビームが出なくなった。RF  
クライストロン波形の異常も見られた。原因はクラ  
イストロン PFN 充電用の高圧電源 (旧 Maxwell 社  
製) の故障であった。国内メーカーの代替品への変  
更も検討したが予算の関係上、断念し故障電源を米  
国へ送付しメーカーによる修理中である。

### 5.2 今後の予定

当初予定していたアルファ電磁石による短バンチ  
化とコヒーレント放射による大強度テラヘルツ光の  
発生に向けた調整はクライストロン電源故障のため  
実験が遅れているが復旧後に実施する予定である。  
図 8 に GPT で計算したアルファ電磁石内での電子  
ビームのバンチング過程を示す。

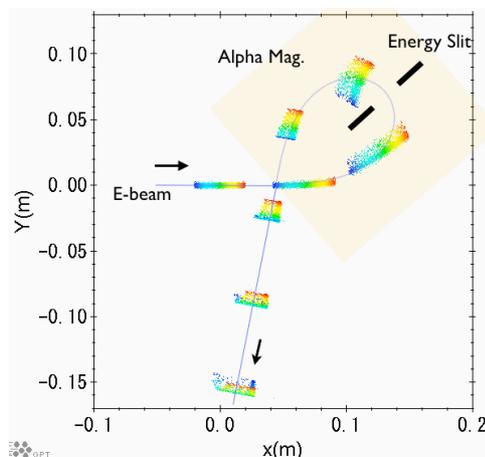


Figure 8: Electron beam bunching at the alpha magnet.

## 謝辞

LEENA 加速器の運転管理に関して多大なご支援  
を頂きました後藤俊治 JASRI 加速器部門長および大  
熊春夫前部門長に深く感謝致します。またスミス・  
パーセル放射等の理論面でご協力頂きましたレー  
ザー技術総合研究所の李大治研究員に感謝いたしま  
す。OTR モニターの整備は兵庫県立大学科学技術後  
援財団による研究助成を受けて実施しました。

## 参考文献

- [1] <http://www.lasti.u-hyogo.ac.jp/NS/facility/leena/>
- [2] S.Hashimoto, et al., “小型電子線形加速器 LEENA のア  
ップグレード計画”, Proceedings of the 8th Annual Meeting  
of Particle Accelerator Society in Japan, Tsukuba, 2011
- [3] S.Hashimoto, et al., “兵庫県立大学電子線型加速器  
LEENA の現状と性能向上”, Proceedings of the 9th  
Annual Meeting of Particle Accelerator Society in Japan,  
Osaka, 2012
- [4] S.Chin, et al., “小型線形加速器 LEENA を用いたテラ  
ヘルツ光源開発”, Proceedings of the 9th Annual Meeting of  
Particle Accelerator Society in Japan, Osaka, 2012
- [5] S.Hashimoto, et al., “小型線形加速器 LEENA におけるテ  
ラヘルツ光源開発”, Proceedings of the 10th Annual  
Meeting of Particle Accelerator Society in Japan, Nagoya,  
2013
- [6] 橋本他, “小型電子線形加速器 LEENA を用いたテラ  
ヘルツ光源開発”, 電気学会論文誌 C, vol. 134, No.4,  
pp.495-501, 2014