

UPGRADE PLAN OF THE COMPACT ELECTRON LINEAR ACCELERATOR LEENA FOR A TERAHERTZ RADIATION SOURCE

Satoshi Hashimoto ^{#A)}, Sayaka Chin ^{A)}, Dazli Li ^{B)}, Sho Amano ^{A)}, Shuji Miyamoto ^{A)}

^{A)} Laboratory of Advanced Science and technology for Industry, University of Hyogo
NewSUBARU, 1-1-2 Koto, Kamigorigiyo, Akougun, Hyogo, 678-1205, Japan

^{B)} Institute for Laser Technology, 2-6 Yamada-oka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

Abstract

We are planning to upgrade the 15MeV electron linear accelerator LEENA as a radiation source in terahertz regime. For the precise beam handling, an old-fashioned control system is now partially updated to the new one based on PC and Linux. Upgrade of other components such as beam monitors, RF low-level system, and terahertz radiation monitoring system are also being planned. Beam commissioning for the generation of terahertz light by Smith-Purcell radiation has started.

小型電子線形加速器 LEENA のアップグレード計画

1. はじめに

兵庫県立大学ニュースバル放射光施設内にはニュースバル 1.5GeV 電子蓄積リングとは別に 15MeV 小型電子線形加速器 LEENA (Laser Emitted ElectroN Accelerator) [1]があり、これまでに赤外線領域の自由電子レーザーの研究[2]やレーザー照射ニードルカソードによる電子ビームの高輝度化に関する研究[3,4]などが行われてきた。

しかし、加速器の設置から既に 15 年以上が経過し、その間に特に大きな改修はなされなかったため、今となってはシステムの旧式化・老朽化は避けられず、本来の性能を十分に発揮できていないと言え難かった。我々は LEENA 加速器をテラヘルツ放射光源として再活用するため、システムの改修およびアップグレードを 2011 年度から開始した。ニュースバルで現在利用出来る軟 X 線領域のシンクロトロン放射光およびレーザーコンプトン散乱 γ 線に加え

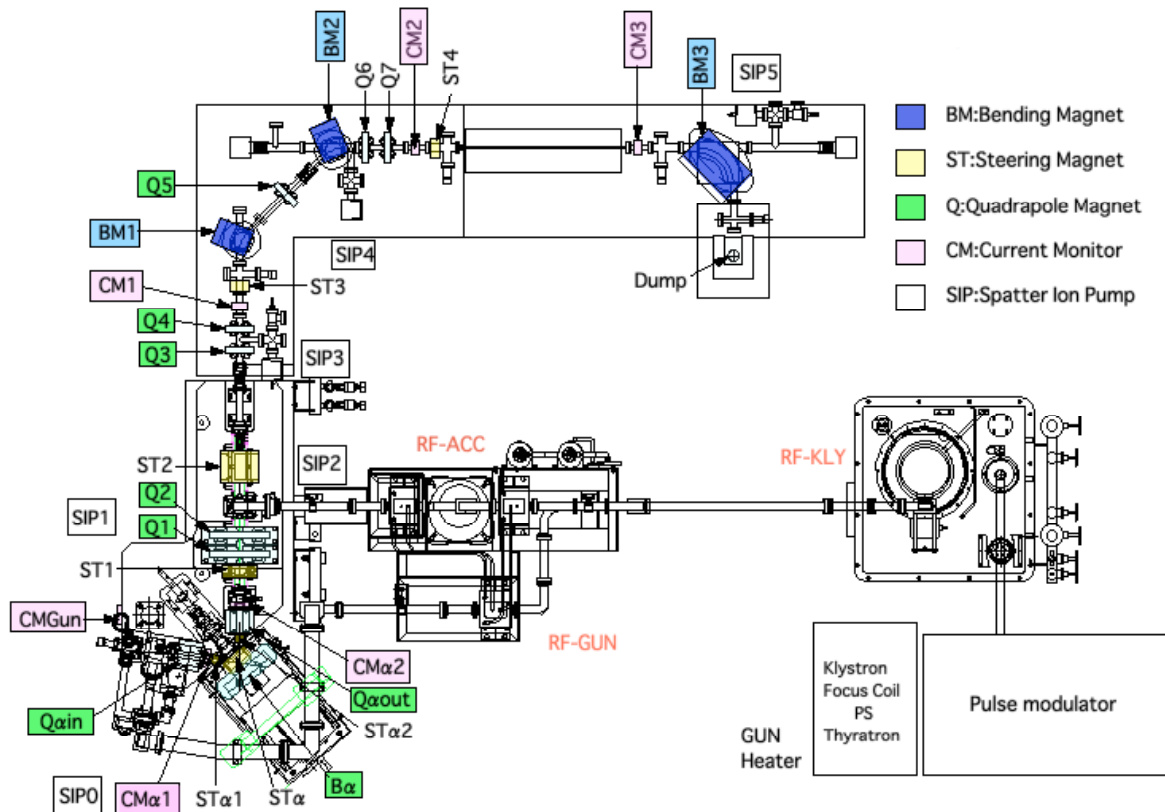


図 1 : 小型電子線形加速器 LEENA

#hashi@lasti.u-hyogo.ac.jp

て、テラヘルツ波の産業利用に向けた光源の開発を進めたいと考えている。テラヘルツ光源の候補としていくつか考えられるが、当面はスミスパーセル放射による光源開発を進める。本報告では LEENA 加速器の現状とアップグレード計画およびスミスパーセル放射によるテラヘルツ光源の開発について報告する。

2. LEENA 加速器の概要

小型線形加速器 LEENA の現在の構成図を図 1 に示す。LaB₆ 熱陰極カソードの付いた RF 電子銃から発生した電子ビームはアルファ電磁石でバンチ長を圧縮された後、加速管にて 6~15MeV まで加速される。二台の偏向電磁石でビーム軌道を曲げた後、光源用直線部を通過し、ビームダンプにて廃棄される。表 1 に主要なパラメータを示す。

これまで、加速器機器は建設当時のままの PLC 制御が行われており、電磁石に通電する電流値や RF パラメータなどはポテンショメーターやタッチパネルから手動で調整する必要があった。そのため加速器調整時の安定性、再現性が困難という問題があった。

表 1 : LEENA 加速器の主要なパラメーター

RF 周波数	2856 MHz
ビームエネルギー	6-15 MeV
エネルギー広がり	±0.5% @ 15 MeV
マクロパルス	
ピーク電流	50 A
パルス幅	< 10 ps
マイクロパルス	
周波数	1-10 Hz
パルス幅	5 μs

3. システムのアップグレード

3.1 制御系

先に述べたように LEENA 加速器の最も大きな問題点はその旧式な制御系であった。機器インターロックを含む既存の PLC システムはほぼそのままにして加速器の計算機制御を実現するために PLC と計算機間の通信のために OPC サーバーを用いた (図 2)。ラックマウントサーバー(HP ProLiant DL)に Linux(CentOS 8.6)および仮想化ソフトウェア VMware server を動作させて、3 台の仮想マシン(PC)を動作させている。LEENA 専用の Private LAN 上に運転制御に必要なすべての機器 (Linux, PC, オシロスコープ, GPIB 変換器, PLC, cRIO 等) を接続し、クライアント端末からはリモートデスクトップおよび X window により仮想マシンに接続して加速器運転 GUI を表示・操作する (図 3)。小型加速器シ

テムの制御における仮想化技術の使用は、初期導入時やメンテナンスにおける金銭的・人的コストの削減を可能にし、性能的にも十分である (図 4)。またシミュレーション計算時にはシミュレーション用仮想マシンに、ビーム運転時にはビーム運転用仮想マシンにと、CPU やメモリなどの計算機資源を優先的に割り当てることが出来るなど、柔軟な運用が可能である。

LabVIEW による運転プログラムの開発を行い、CT 波形の取得、機器ステータス情報の取得、電磁石電源等の計算機制御等は既の実現し、今後は LabVIEW および EPICS を用いたシステム全体を統括するシステムの開発に取り組む予定である。

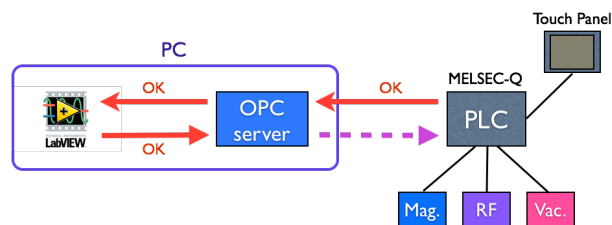


図 2 : OPC サーバーを経由した PLC の計算機制御

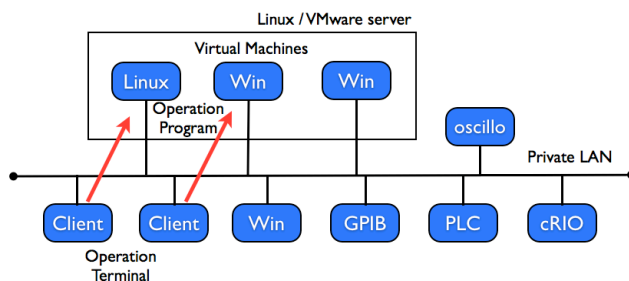


図 3 : LEENA 制御系ネットワーク

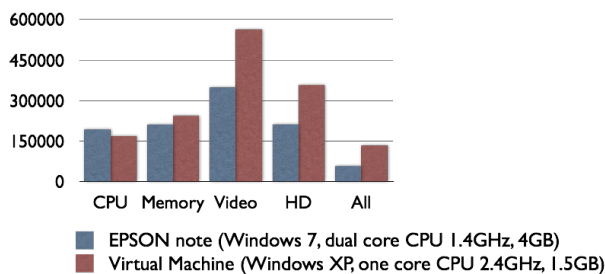


図 4 : 仮想化マシンの性能比較

3.2 ビームモニター系その他の予定

テラヘルツ光源の開発に向けて、さらにビームモニター系、特に BPM の追加、GPT 等を用いたビームシミュレーションによるビーム輸送効率の改善、冷却水等のユーティリティの精密制御、RF low level 系の改善等を今後行う予定である。

4. スミスパーセル放射によるテラヘルツ光源

電子ビームが周期的な構造（グレーティング）の近傍を通る時にグレーティング表面に誘起される電荷の振動により電磁波が発生する現象はスミスパーセル(SP)放射として知られている。短バンチ電子ビームによるコヒーレント SP 放射や表面を走るエバネッセント波と電子ビームとの相互作用で電子ビームのエネルギーが電磁波に与えられる超放射 (Superradiant SP emission)は自発的な(Spontaneous) SP 放射に比べて強い電磁波を発生する[5-7] (図5)。

ビームダンプ上流の偏向電磁石 BM3 直前の直線部には現在、スミスパーセル放射のためのグレーティングを内蔵したチェンバーが設置されている。表2に本グレーティングの主なパラメーターを示す。グレーティングはステッピングモーターで±5mmの範囲で昇降が可能であり、また角度θ方向に回転制御可能なミラーおよび数枚のミラーをチェンバー内に設置してあり常にチェンバー横のビューポートからテラヘルツ光が取り出せる仕様になっている。現在、スミスパーセル放射によるテラヘルツ波の観測に向けてビーム調整を開始したところである。

図6に Induce SURafec Current Model[8]により計算した放射パワーの角度依存性を示す。

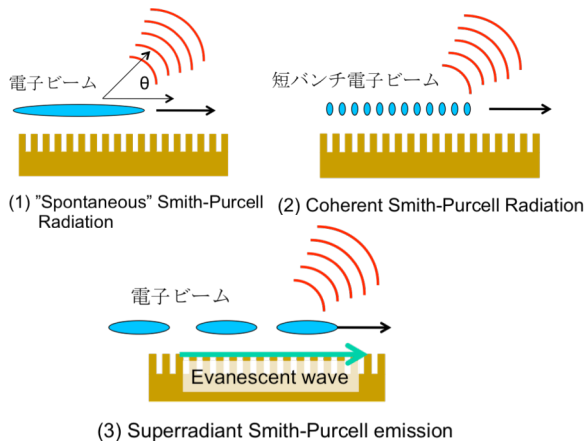


図5：スミスパーセル放射の”モード”

表2：LEENA Smith-Purcell グレーティングのパラメーター

周期	10 mm
溝長さ	3 mm
全長	480 mm
周期数	48
材質	無酸素銅

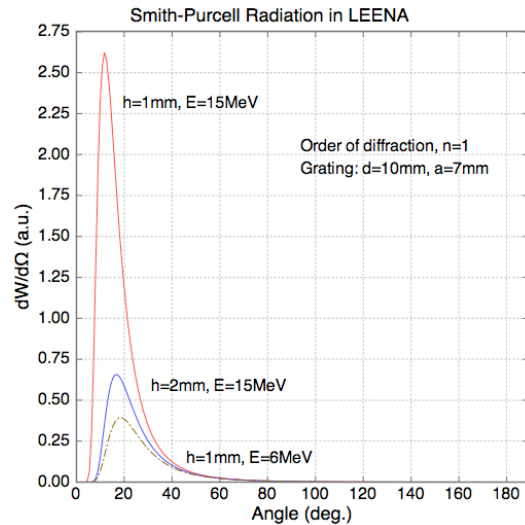


図6： Induced Surface Current Modelによる全放射パワーの角度分布

5. まとめ

ニュースバル放射光施設にある 15MeV 小型電子線型加速器 LEENA をテラヘルツ放射光源として再活用するため、アップグレードを計画し、一部はすでに進行中である。現在スミスパーセル放射に向けてビーム調整調整を行っている。

6. 謝辞

PLC による機器制御に関して多大なるご助力を頂きました JASRI 制御情報部門の川田健二氏には大いに感謝いたします。また様々な作業にご協力頂きました JASRI 加速器部門の皆川康之氏、竹村育浩氏に感謝します。

参考文献

- [1] <http://www.lasti.u-hyogo.ac.jp/NS/facility/leena/>
- [2] T.Inoue, et al., "Enhanced Quantum Efficiency of Photocathode under High Electric Field", NIM A 528, pp. 402-407, 2004
- [3] T.Inoue, et al., "Enhanced Quantum Efficiency of Photocathode under High Electric Field", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41, pp. 7402-7406, 2002
- [4] T.Inoue, et al., "Design of Laser-Excited Needle-RF-Gun", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42, pp. 311-317, 2003
- [5] S.E.Korbly, et al., "Observation of Frequency-Locked Coherent Terahertz Smith-Purcell Radiation", Phys. Rev. Lett. 94, 054803, 2005
- [6] D. Li, et al., "Smith-Purcell Radiation with Three-Dimensional Simulation", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 46, pp. 601-604, 2007
- [7] J.Urata, et al., "Superradiant Smith-Purcell Emission", Phys. Rev. Lett. 80, 3, 1998
- [8] Brownell, et al., "Spontaneous Smith-Purcell radiation described through induced surface currents", Phys. Rev. E. 57, 1075-1080, 1998