

CNT COLD EMISSION BEAMS AND ACCELERATION TEST IN KEKB/PF LINAC

Satoshi Ohsawa^{1,A)}, Mitsuo Ikeda^{A)}, Takashi Sugimura^{A)}, and Yasufumi Hozumi^{B)},

^{A)} Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

^{B)} Advanced Manufacturing Research Institute, National Institute of

Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Namiki 1-2-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8564

Abstract

A field emission electron gun with a carbon-nanotube (CNT) cathode has been installed in the KEKB/PF linac, and the beams extracted from the gun have been accelerated to the end of the linac to 2.5 GeV. We confirmed that the beams can easily stand comparison with the usually injected beams, which are extracted from a thermionic gun installed nearby

CNT冷陰極ビームとKEKB/PFリニアックに於ける加速試験

1. はじめに

カーボンナノチューブ (CNT) は1991年に発見されるや、その形から電界放出型の新たな電子源として注目された。KEKでも2001年から数社の協力を得て、電界放出型のCNT陰極を用いた電子銃の開発を開始した。これはCNTの傑出した高い電流密度と加熱を必要としない冷陰極の特徴を生かして、大電流低エミッタンス加速器用電子銃の開発を目指すものである^{[1], [2]}。

一昨年にはプロトタイプのカソード電子銃を開発し^[3]、100kVのテストスタンドにおいて、直径2.6mmのカソード部から最大およそ500mAのパルス電子ビームを得た^[4]。

そこでKEKB/PFリニアックにもCNT電子銃を設置し、実機における問題点を調査するとともに、そのビームをリニアック終端までの加速し、エミッタンスやエネルギー安定性等の試験を行った。

2. 電界放出型のCNT電子銃

2.1 リニアックへのCNT電子銃設置

PFとARの両リングへ入射する電子ビームは、リニアックの途中、上流からおよそ1/3の位置にある電子銃から供給している。図1に縦に立っているセラミックがその絶縁碍子である。その少し手前、上流側に横方向に見えるのが新たに設置したCNT電子銃である。上流から来る高エネルギーの電子ビームを避けるために、いずれの電子銃もビームラインに垂直方向からビームを入射している。

これらの電子銃は加速用高圧電源を共用しており、1台の高圧電源で2台の電子銃をドライブしている。

また各電子銃には専用のグリッドパルサーとDCバイアス電源が備わっており、独立に制御される。しかし2台の電子銃から同時にビームを取り出すことはできない。そのため、各電子銃が独立に持っている集束系 (90度偏向磁石と磁気レンズ、ステアリングコイル) の各電源を共用しており、配線をコネクター部で切り替えて運転するシステムになっている。

既設の電子銃は60L/min. のイオンポンプ2台で排気しているが、CNT電子銃は空間的な制約から、10L/min. のイオンポンプを1台だけ設置した。しかしこれでは明らかに排気能力不足である。特に放電した場合に回復するまでの時間が長く掛かるので、

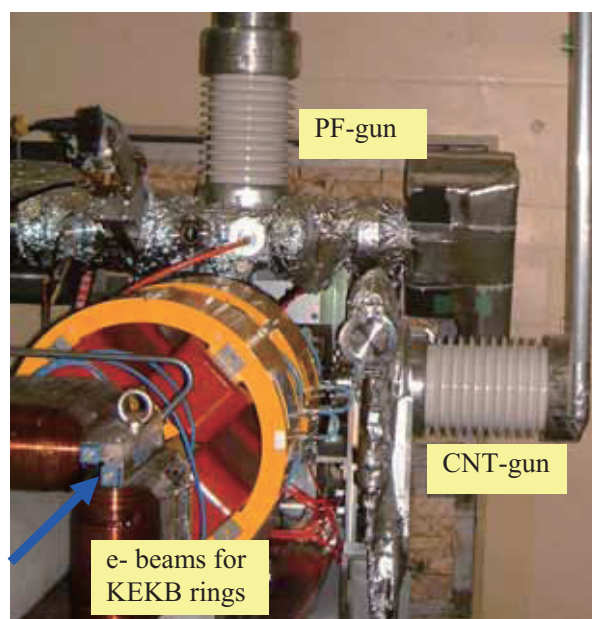


図1. PF/AR リング入射用電子銃とCNT電子銃

¹ E-mail: satoshi.ohsawa@kek.jp

現在60L/min. のポンプに変える準備を進めている。

2.2 CNT電子銃の構造

CNT電子銃は三極管型であり、図2の写真に写っているメッシュ状のグリッドとその下にある陰極の間に引出電圧を印加してビームを取り出す。図2の右の小さい写真が陰極部である。その黒い部分が配向のないCNTの集合体であり、この部分から電子が放出される。CNTが消耗した場合には、この陰極部だけを交換する。熱陰極と異なり高温になる部分がないために組立構造となり、陰極以外は再利用ができる。これはこの電子銃の特徴の一つである。



図2. 電界放出型CNT電子銃の構造。

2.3 CNT電子銃のビーム特性

CNT陰極とグリッドのアセンブリーは、DC100kVのテストスタンドで特性を試験してからリニアックの電子銃に取付けることにしている。図3はサンプル陰極 (SUS13) のテストスタンドにおける試験結果である。この陰極のCNT部の直径は5mmである。測定

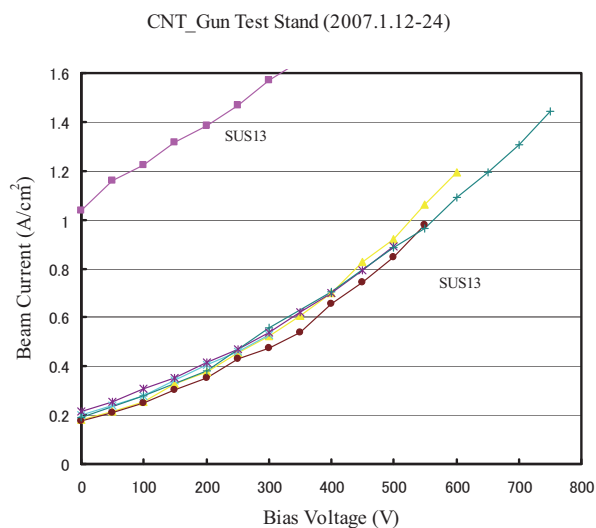


図3. サンプル陰極 (SUS13) の放出特性

には、2nsで50Hzのパルスを用いた。

左上に示したデータが最初に測定した値である。バイアス電圧を下から上げていき、800Vに達したときに、グリッドと陰極間で放電が発生し、ビーム電流が下に示したラインまで減少した。その後バイアス電圧を変えて複数回測定したが、この領域では更なる放電は発生せずに安定であった。

このCNT陰極とグリッドのアセンブリーをリニアックの電子銃に取付け、リニアックでのビーム加速試験を行った。

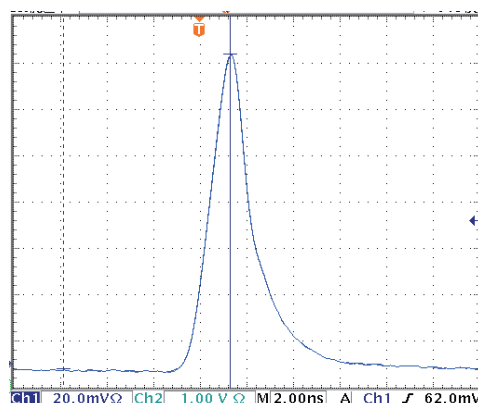


図4. CNT電子銃のビーム電流波形

3. CNT電子銃ビームの加速

3.1 KEKB/PFリニアックにおける加速試験

図5は、CNT電子銃ビームをKEKB/PFリニアックの終端まで加速し、ビームの特性を調べたときのビーム軌道のx、y変位とビーム電流を示している。軌道にわずかな変位が見られるが、ビームは途中で失われることなく、ほぼ完璧に2.5GeVまで加速されている。

ビームのエネルギー2.5GeVとその安定度は、終端にある分析系のスクリーンモニターで観察し、通常の入射ビームと遜色ないことを確認した。

表1は2種類の電子銃とそのビームに関するデータである。エミッタンスは、入射器終端部にあるワイヤースキャナで、2.5GeV、60pC/パルスの同一条件のビームを測定した。集群と加速による増大が深まれている、電子銃の値そのものは不明であるが、CNT電子銃ビームのエミッタンスのほうがやや小さいと考えられる。

表1: 電子銃の種類とエミッタンス@2.5 GeV

電子銃名と種類	陰極面積 (cm ²)	エミッタンス $\gamma\epsilon_x, \gamma\epsilon_y$ (π mm mrad)
CNT 電子銃, 冷陰極	0.2	52.8, 56.7
PF 電子銃, 熱陰極	2.0	68.1, 69.0

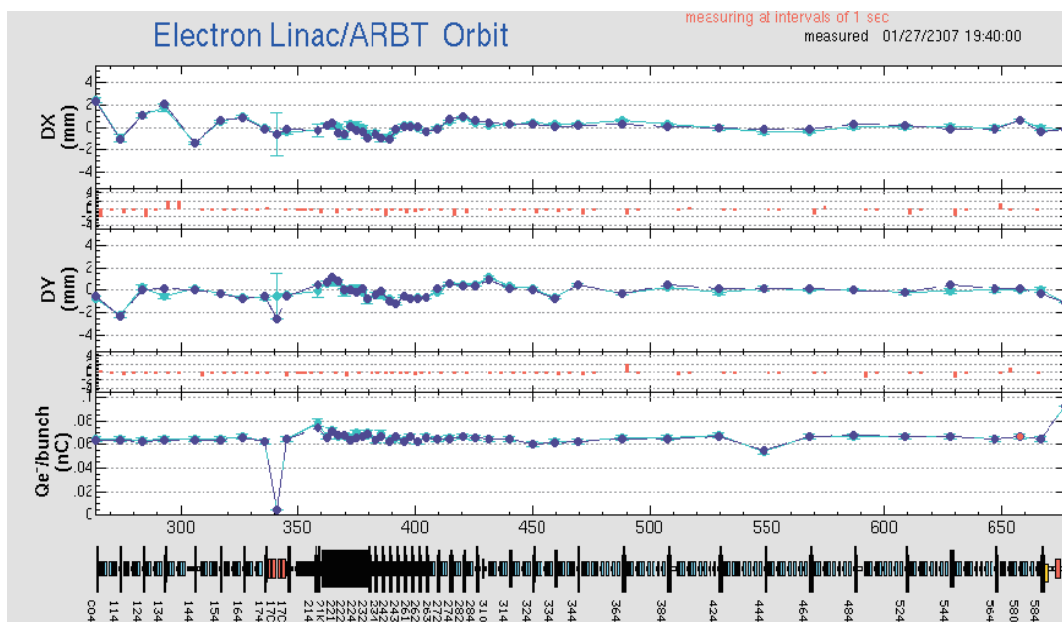


Figure 5: A typical example of the beams provided from the CNT-cathode gun. The lines show the electron beam x/y-orbits and charge transmission along the KEKB/PF linac.

3.2 ラマンスペクトル

CNT陰極のラマンスペクトルを測定し、結果を表2にまとめた。グラファイトの結晶に対応するGバンドと欠陥に対応するDバンドのG/D比は、CNTの結晶性の高さを表している。使用済みの陰極では、結晶性が悪化していることが判明した。

総てのサンプルは同一工程で製造され、陰極サイズは同じである。20mmの穴の開いた陽極版と陰極の間隔を0.1mmに保ち、放出電流が1mAになる印加電圧を測定した。また陽極版には直径20 μ mの穴が開いており、その位置を変えて、陰極全面がスキャン出来るようになっている。局所的な最大電流密度は、20 μ mの穴を通過する電流から求めた。

表 2: 初期 DC 放出電流 (0.1mm gap, $I=1$ mA)

サンプル No.	印加電圧(V)	I_{max} (mA/cm ²)	ラマンスペクトルのG/D比
SUS11	200	44.2	-
SUS12	207	57.5	1.11 [#]
SUS13	213	43.7	-
SUS14	260	101.1	4.18
SUS15	194	40.3	2.39

[#] 使用後の測定値

4. 結論

KEKB/PFリニアックに設置したCNT電子銃のビームをリニアック終端までの加速し、エミッタンスとエネルギーの安定性に問題がないことを確認した。今後は、放電防止と電荷量の増大に勤める。

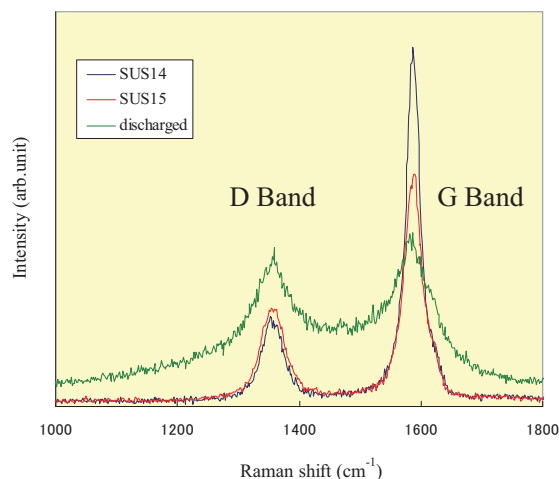


図6 CNT陰極のラマンスペクトル

5. 謝辞

加速試験では、入射器の職員および関係者の皆さんに協力して戴いた。またJFEエンジニアリング社には、CNT陰極のサンプルとその初期データを提供していただいた。深く感謝いたします。

参考文献

- [1] S. Ohsawa et al., Proc. of the 28th LINAC meetings in Japan, 2003, pp. 120-122 (In Japanese)
- [2] A. Yamamoto et al., Proc. of the PAC03, Portland, May, 2003, pp. 3326-3328
- [3] Y. Hozumi et al., Proc. of the LINAC04, Lübeck, August 2004, pp. 722-724.
- [4] Y. Hozumi et al., Proc. of the PAC05, Knoxville, Tennessee, May 2005, pp. 1392-1394.