

## DEFLECTING CAVITY FOR BUNCH LENGTH DIAGNOSTICS AT COMPACT ERL INJECTOR

Shunya Matsuba<sup>#,A)</sup>, Yosuke Honda<sup>B)</sup>, Tsukasa Miyajima<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Hiroshima University

2-313 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima city, Hiroshima, 739-0046

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba city, Ibaraki, 305-0801

### Abstract (英語)

A 5GeV ERL (Energy Recovery Linac) is planned in KEK for future X-ray synchrotron radiation light source. In order to establish new accelerator technologies, which is necessary for ERL, the compact ERL is now under construction. The electron gun is one of the essential technologies for ERL. In KEK, we are developing the high voltage electron gun using photocathode with NEA (Negative Electron Affinity) surface. In order to generate high quality beam for ERL, the quick response of the photocathode to the laser pulse is critical. To test the photocathode, the deflecting cavity was manufactured for the electron bunch length measurement. In this paper, we show the design of the deflecting cavity, its production, and the results of the characteristics measurement.

### コンパクト ERL 電子銃におけるバンチ長測定用偏向空洞

#### 1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構では、エネルギー回収型ライナック (Energy Recovery Linac) をベースとした、超低エミッタンス、短パルスの X 線放射光源を検討している。その実証機として、ERL に不可欠な技術要素を含んだ 100 MeV クラスの小型の ERL (Compact ERL) の建設が進められている。

ERL の電子銃には、低エミッタンス、短バンチ、大電流のビームが要求される。そのため、NEA フォトカソード DC 電子銃の開発が進められている。

フォトカソードにはレーザーに対する応答が遅く、レーザー幅に対して長い尾を引くものが存在する[1]。そのようなバンチ長の伸びはエミッタンスの悪化を引き起こしてしまうため、カソードの応答特性をビーム試験により精査することが必要である。

偏向空洞はバンチ長を測定するための一つの方法であり、多くの研究施設で用いられている[2-3]。空洞によりバンチの前後に通過のタイミングに比例した上下の蹴りを与え、それにより横方向に広がったビームサイズを測定することでバンチ長を評価することが可能となる。

偏向空洞は、ERL の基本周波数である 1.3 GHz の整数倍の周波数で駆動するのが望ましく、サブピコ秒から 100 ピコ秒程度のバンチ長を測定可能でなければならない。偏向させるビームは最大 500 keV である。

本発表では、偏向空洞の設計や製作について、測定結果およびビームシュミレーションについて報告する。

#### 2. 偏向空洞

空洞は電力とサイズを抑えるため、2.6 GHz のダイポールモードで駆動する直方体形状とした。図 1 にその形状を示す。その他のモードの共振周波数を表 1 に示す。ビームパイプは上流下流のラインとの兼ね合いから 38 mm とした。図 2 に TM120 モードの電磁場を示す。

Gdfidl を用いた計算では、 $Q_0$  が約 15300 であった[4]。表 1 にその他のモードの周波数を示す。空洞に投入する電力は 20 W 程度と見積もられ、その時、最大 4 Gauss の磁場が発生する。これにより、500 keV、40 ピコ秒のバンチに  $\pm 2$  mrad の蹴り角を与える。

バンチ長測定の際には偏向空洞手前に設置されたスリットでビームをコリメートしてやることで高い分解能を得る。スリットは 100  $\mu\text{m}$  の幅があり、0.5 psec 程度の分解能が得られる。

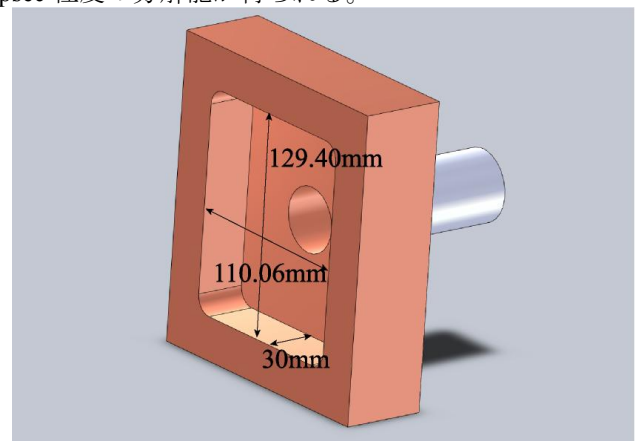


図 1: 空洞形状

<sup>#</sup> shunya@post.kek.jp

表 1 :共振周波数

Mode	Frequency [GHz]
TM110	1.842
TM120	2.600
TM210	2.856
TM220	3.554
TM130	3.778

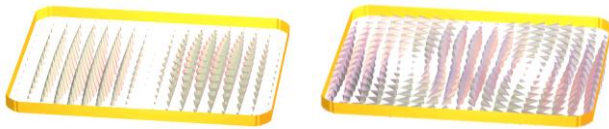


図 2: TM120 モードの電場 (左図) と磁場 (右図) ビームは空洞の中心を電場と平行に通過する。

空洞の本体は銅できており、チューナーが上下左右の 4 カ所に設置してある。その他、インプットカップラー、モニターポート、水冷管を取り付けてある。図 3 に偏向空洞の写真を示す。

インプットカップラーは、直径 3 mm のアンテナが直径 7 mm の穴から空洞内部に突き出す格好になっている。インプットポートの Q-external の測定結果と計算結果を図 4 に示す。アンテナの突き出し量を調整した結果、先端が空洞内に 1.24 mm 突き出した状態でカップリングが 1.02 となった。Q<sub>0</sub> は 14000 程度であった。これは計算値の 90 %程度となっている。

ビーム軸に対してインプットカップラーと対称な位置に、モニターポートが用意してあり Q-external が  $2.28 \times 10^8$  となっている。さらにもうひとつモニターポートを取り付けてあり、これらを空洞 BPM のように用いてビームが空洞中心を通過していることを確認することができる。

チューナーは、KEK-ATF の S-band RF-Gun に使われたものを取り付けている[5]。このチューナーは空洞壁の一部を薄く作っておき、その部分の壁を押し引きすることで、周波数の調整ができる。空洞は数度の加工の後、大気中での共振周波数が 2.5967 GHz となった。真空状態で周波数が上昇することを考慮して、周波数を 2.5993 GHz に調整した。

空洞が小さいため排気ポートは設けずにビームパイプから排気する。リークがないことと、空洞単体で十分排気可能なことを確認し、ベークングを行った。運転時に用いるビームラインに組み込んで排気をしたところ、偏向空洞から 1.2 m ほど離れた BPM チャンバーの端での真空度が  $2.9 \times 10^{-7}$  Pa に到達している。

温度調節のために空洞の外壁に水冷管が付いており、チラーと繋がっている。チラーを用いて空洞の温度を 0~80 度の範囲で調整することができる。温度を変化させると周波数も変化する、その変化率は、 $\delta f / \delta t = 48$  [kHz/T]となる。測定結果を図 5 に示す。これより 25 度の時に周波数が 2.600 GHz となる。RF 電源は 40 W の物を用意している。冷却を行わないと温度が上昇し、周波数の変化を引き起こす。約 20 W のパワーを投入した時の温度変化を図 6 に示す。チラーを起動している間、温度変動は  $\pm 0.1$  度の範囲に収まり、周波数の変化もなかった。

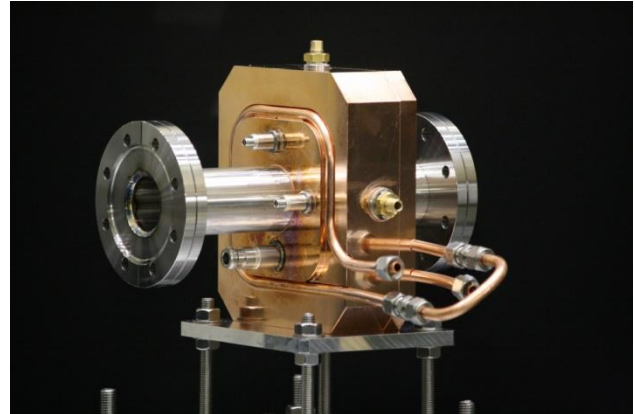


図 3: 空洞の写真。

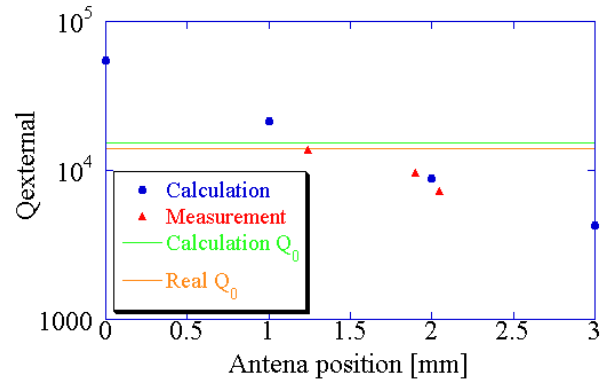


図 4 :アンテナの位置に対する Q-external の変化量。アンテナ先端の壁からの突き出し量を横軸にとっている。

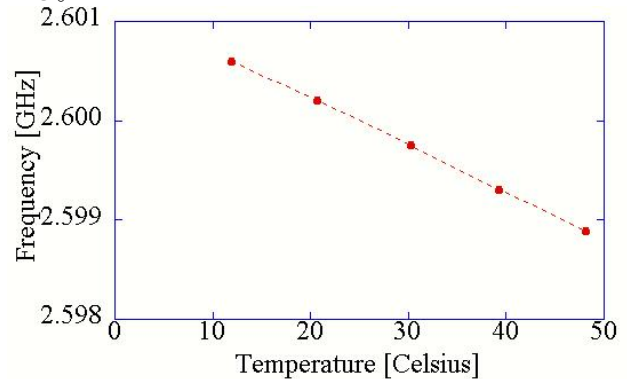


図 5: 空洞温度と共振周波数の関係。

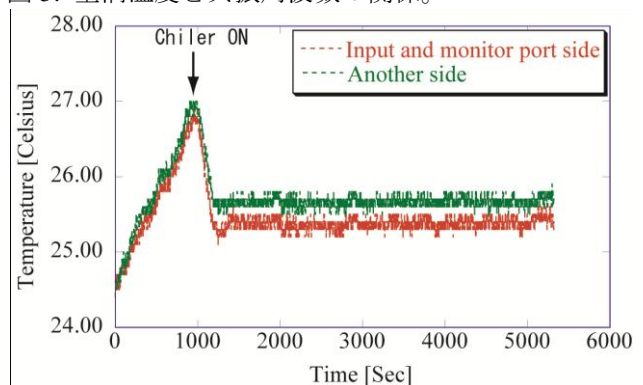


図 6: 空洞の温度変化。

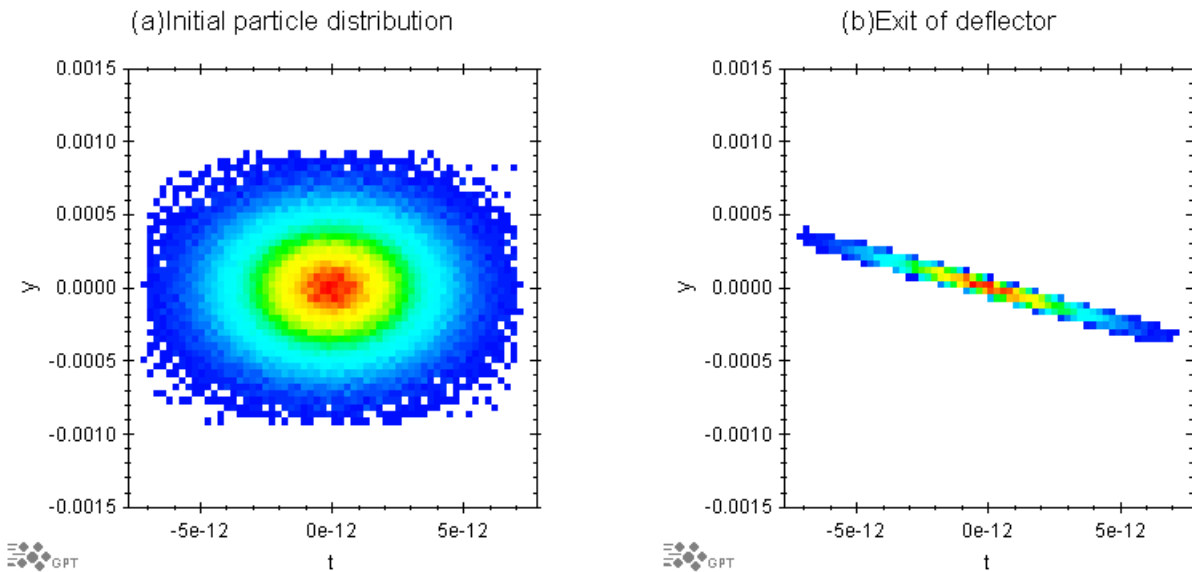


図 7: シミュレーションの結果。(a)が初期粒子分布で、(b)がスリットと偏向空洞通過後の分布。縦軸が垂直位置を表し、横軸がスクリーンへの到着時間を表している。バンチ中心の到着時間を 0 秒としている。

### 3. シミュレーション

偏向空洞の効果を挿入したビームシミュレーションを進めている。計算には General Particle Tracer (GPT)を用いた[6]。ビームを 100  $\mu\text{m}$  のスリットで切り取った後、偏向空洞でビームを傾けてスクリーンまで移送している。初期 rms ビームサイズはで 0.3 mm、バンチ長は 10 psec、エネルギーは 500 keV であり、空洞のピーク磁場を約 4 ガウスに設定してある。スクリーンを空洞の 1.6 m 下流に置き、初期粒子分布とスクリーン上での分布を図 7 に示した。偏向空洞の通過時間に比例した蹴りを受けてビームサイズが広がっている。図 7(b)に示すように、偏向空洞後のビームの垂直方向位置は、電子がスクリーンに到着する時刻に比例していることがわかる。従って、スクリーン上での垂直方向ビームサイズを測定することによって、バンチの時間方向分布を測定することが可能である。

### 4. まとめ

バンチ長測定用の偏向空洞を製作した。パワーを投入中に周波数が安定であることを確認した。すでにビーム診断ラインに組み込んであり真空の問題もないようである。

今後、低パワーの回路の組み立て等、ビーム試験に向けたシステムを構築する。また、ビームシミュレーションも平行して進めていき、準備が整い次第ビーム試験を開始する。

### 参考文献

- [1] K.Aulenbacher, et al., Journal of Applied Physics. Volume 92 Number 12
- [2] N.Nishimori et al., “ERL 高輝度電子銃ビーム診断のための偏向空洞の特性”, Proceedings of the 5th Particle Accelerator conference, Higashi Hiroshima, Aug. 6-8,2008
- [3] S.Belomestnykh et al, Nuclear Instrumentation and Methods in Physics Research A 614 179-183
- [4]<http://www.gdfidl.de/>
- [5]高富俊和, “PHOTO CATHODE RFGUN Cavity の製作” KEK 技術研究会 つくば 2009
- [6]<http://www.pulsar.nl/gpt/>