

## DEFLECTING CAVITY FOR BEAM DIAGNOSTICS OF AN ERL GUN

Nobuyuki Nishimori<sup>1,A)</sup>, Ryoji Nagai<sup>A)</sup>, Hokuto Iijima<sup>A)</sup>, Ryoichi Hajima<sup>A)</sup>, Masaru Sawamura<sup>A)</sup>, Yosuke Honda<sup>B)</sup>,  
Toshiya Mutoh<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Energy Recovery Linac Development Group, Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka, Ibaraki, 319-1195

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

Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

A 500 MHz deflecting cavity will be used to measure temporal shape of an electron beam from a 250 kV DC photocathode electron gun. The gun has been developed for the next generation synchrotron radiation source based on energy recovery linac. The cavity is a TEM mode coaxial cavity with the quality factor  $Q = 4900$ . The deflecting angle is 7 mrad for the electron bunch with 20 ps FWHM with 165 W input RF power. The cavity will also be used for beam slice emittance measurement.

## ERL高輝度電子銃ビーム診断のための偏向空洞の特性

### 1. はじめに

エネルギー回収型リニアック (ERL) による次世代放射光源のための電子銃開発を行っている。平均電流10-100mA、規格化エミッタンス0.1-1mm-mradの高輝度高電流電子ビーム生成を最終目標とし、NEA半導体 (GaAs系) を光陰極としたDC電子銃のプロトタイプを開発中である<sup>[1]</sup>。エネルギー250keV、バンチ電荷77pC、バンチ長20ps FWHM、繰り返し周波数83.3 MHzの電子ビーム生成を当面の目標に据えている。

低エミッタンスビームを得るには、駆動レーザーの波長をGaAs半導体のバンドギャップに近い800nm程度にするのが有利であるが<sup>[2]</sup>、電子の応答速度が100ps程度と遅く、20ps幅のレーザーを照射すると100ps程度のテールを生じる欠点がある<sup>[3]</sup>。低エミッタンスと高速応答を両立させるには、カソードの改良が本質的だが、その確認にはエミッタンスと電子バンチ長のビーム診断が欠かせない。バンチ長の測定には、金属フォイルにビームを照射する際に生じる光遷移放射光をストリークカメラで測定するのが簡便であるが、光遷移放射光を得るには電子ビームのエネルギーが低すぎる難点がある。

そこで、電子バンチの繰り返し周波数に同期した499.8 MHzの偏向空洞を用いたバンチ長測定システムを開発することにした。既に2MeV電子ビームの縦方向位相空間分布測定のために開発・製作した空洞を所有していたので<sup>[4]</sup>、これを用いることにした。未使用、未テストのままであったため、今回性能試験を行った。本報告では、この同軸型偏向空洞の構造及びローパワー測定、バンチ長測定に必要な電圧

が得られることを示すハイパワー測定結果について報告する。

### 2. 電子バンチ長測定システム

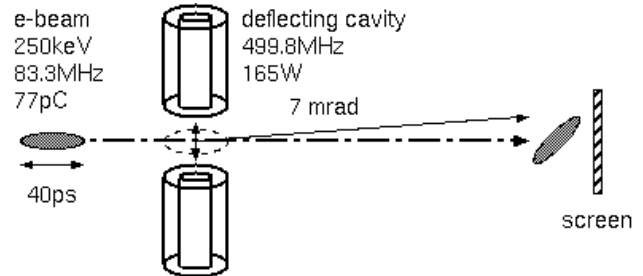


図1 電子バンチ長測定システム

図1に電子バンチ長測定システムを示す。同軸型偏向空洞の内軸導体ギャップ間にかかる電界と内軸導体を囲む磁界により、電子バンチは縦方向にキックされる。電界の大きさや位相情報、及び下流に設置したスクリーンの像の測定から、電子バンチ長を評価することができる。例えば250keVの電子ビームを±1.8keVキックするのに (±7mrad) 必要なRFパワーの計算値は165Wで、手持ちの400W RF電源の範囲内である。

このような測定システムは、様々な研究所で開発され実験に使われている。CEBAFでは6GeVビームを3つの実験室に分配するのに500MHzの偏向空洞を開発している<sup>[5]</sup>。米国において次世代ERL放射光源を開発しているコーネル大学でも、1.3 GHzのTM110モード空洞を開発し<sup>[6]</sup>、120keV電子ビームの

<sup>1</sup> E-mail: nishimori.nobuyuki@jaea.go.jp

バンチ長測定を既に終えている<sup>[7]</sup>。その他、X線FEL実現に必要な100fsの極短電子バンチ長測定を行うのに、偏向空洞を用いる計画があり、SLAC<sup>[8]</sup>やSPARC<sup>[9]</sup>で2856MHzの偏向空洞が開発されている。

図2に我々の偏向空洞のセットアップを示す。リモート直線駆動機構付きチューナー、カップラー、RFピックアップモニター、アルゴン洗浄用ポート等を備えている。

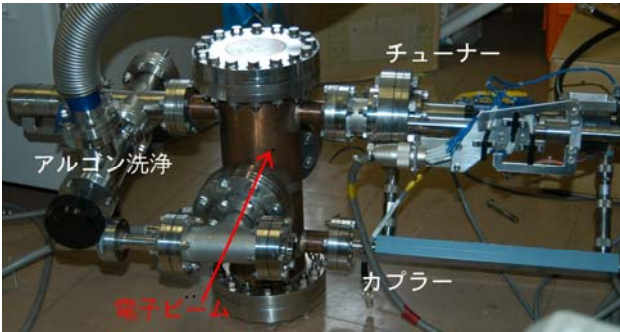


図2 偏向空洞セットアップ

### 3. 499.8MHz 同軸型偏向空洞

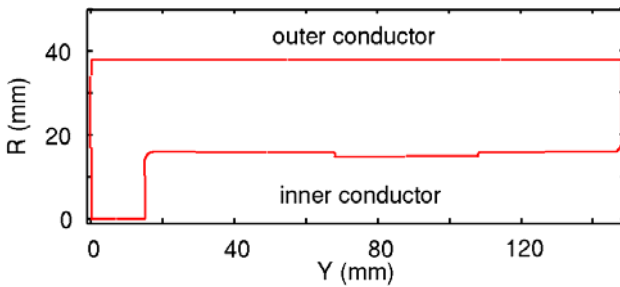


図3 同軸型偏向空洞構造

図3に空洞を1/4カットした断面を示す。外径32mmの銅の内導体が内径76mmの銅の外導体に囲まれている。2本の内導体が向き合う構造になっており、その間を電子ビームが通過する(図3のR軸に沿って進む)。内導体の間隔は30mm。各内導体の長さは133mmである。カップラー及びRFピックアップは、直径2mmの銅線を用いて磁気カップリングで行っている。信号はNタイプの同軸コネクタを用いており、銅線とコネクタの接続は”はんだ”で行っている。チューナーは直径20mmの銅ブロックを直線導入機構で抜き差しする構造になっている。

最初のテストでは、チューナーを完全に引っ込めた状態で空洞の周波数は503.5MHzであった。運転周波数499.8MHzにするには、チューナーと内導体の間隔が1mmとなり、非対称な電磁界が発生し、高いRF電圧が安定にかからなかった。そこで、空洞周波数を下げる目的で、図4のようにチューナー近辺の内導体外径を細くし、運転時に内導体とチューナーの間隔が狭くなりすぎないようにした。内導体

の根元端面から60mmを中心にして±20mmの長さについて、直径を32mmから30.7mmに削った。加工と周波数測定を交互に繰り返し、削り過ぎないように注意した。Superfishの計算では、加工により周波数は2.1MHz下がる。これは測定結果の2.2 MHzとよく一致した。

改造により、499.8MHz 時のチューナー位置は内導体から7mm程度となり間隔が狭くなりすぎるという問題を解決することができた。加工後の内導体仕上げにバフ研磨を行い、測定値 $Q_0=4934$ を得た。計算値 $Q_0=5926$ の8割位を達成している。

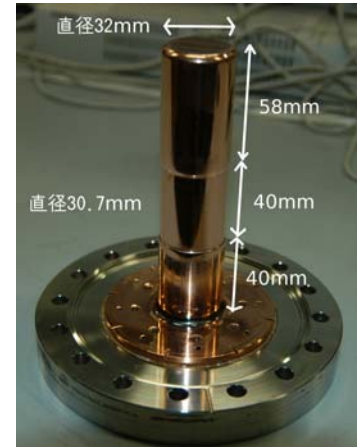


図4 加工後の内導体

磁気カップリングなので、カップラーフランジを回転させることで、カップリング係数を調整することができる。入力パワーが効率的に空洞に投入されるcritical coupling ( $\beta=1$ )になるよう回転角を調整した。結果として $\beta=0.944$ が得られた。

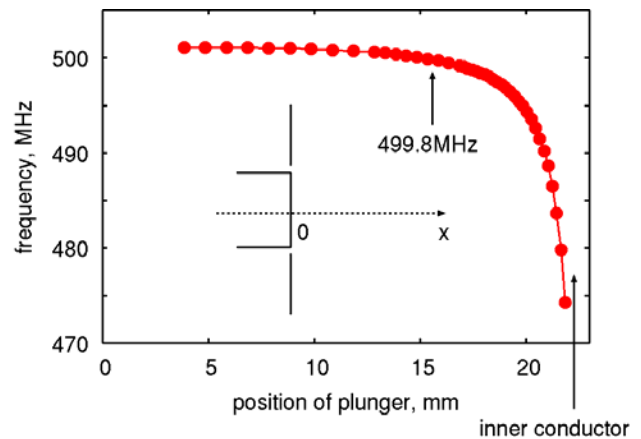


図5 チューナーの位置に対する空洞周波数

図5にチューナーの位置に対する空洞の中心周波数の測定値を示す。横軸0でチューナーの前面と外導体の面が一致する。チューナーを16mm程度挿入したところで周波数は499.8MHzになる。中心導体とチューナーの間隔はおよそ7mmである。

### 4. ハイパワーテスト

加工後の内導体にはアセトンによる超音波洗浄を施したが、ハイパワーテストを行うとRFが安定にかからなかった。そこで、空洞にアルゴンガスを少量流し、放電によりイオン化したアルゴンで空洞を

洗浄した。アルゴンガスはポンプで常時引き、ポンプヘッドの真空度が $2 \times 10^{-1}$ Torrとなるよう可変リークバルブでコントロールした。

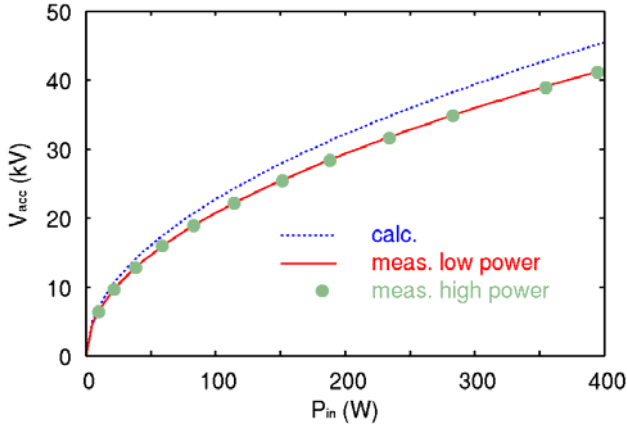


図6 入力パワーに対する偏向空洞の電圧。電子ビームのエネルギーが250keVの時。

最初アルゴン洗浄を2時間程度連続で行った所、カプラー及びピックアップ電極と同軸コネクタを接続していた“はんだ”が溶けてしまった。アルゴン洗浄で加熱しすぎたのが理由である。以降は洗浄時間を10分に制限し、洗浄回数1回のみで400WのRFパワーを入力できることを確認した。

図6に空洞のピーク加速電圧と入力RFパワーの関係を示す。電子ビームのエネルギーが250keVに対する計算値である。青の点線で表す計算値はSuperfish計算で得られたQ0値、ローパワーテストで測定した $\beta$ 値から求めた。赤の実線で表す測定値と青の計算値との違いはQ0の測定値と計算値の違いによる。丸印で表した測定データでは、 $\beta$ の値が各点で必ずしも0.944にはなっていないが、その違いは電圧の違いとして現れるほど大きくない。

表1 偏向空洞の特性

	測定値	計算値
Q0	4934	5926
シャントインピーダンス	4.3M $\Omega$	5.2 M $\Omega$
カップリング係数 $\beta$	0.944	

図7に偏向空洞のピックアップ信号を示す。赤の実線が振幅を表し、青の点線が位相を表す。RFは10Hzで入力し、マクロパルス幅は2msである。位相の安定度は0.3度rms。振幅の安定度は0.1% rmsであった。振幅には周期的な変動が現れている。ローレベルコントローラーが発生するノイズの影響が大きいので、この改良が今後の課題である。

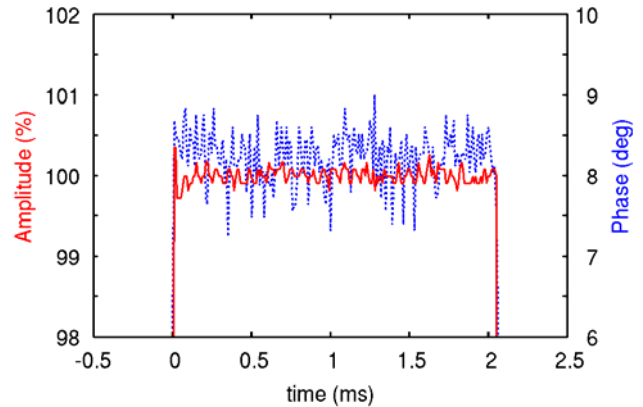


図7 偏向空洞のピックアップ信号。赤の実線が振幅、青の点線が位相を表す。

## 5. まとめ

ERL電子銃のビーム診断のために、電子バンチ長測定用の偏向空洞システムを開発している。空洞の性能試験を行い、手持ちの400W RF電源を利用して実験可能なことを確認した。ビーム診断用のビームラインを建設し、ビーム計測を早期に行いたいと考えている。

本研究の一部は、科研費基盤 (B) 20360424、科研費若手 (B) 20740153 の成果である。

## 参考文献

- [1] コンパクトERLの設計研究, 羽島良一、中村典雄、坂中章悟、小林幸則, KEK Report 2007-7, JAEA-Research 2008-032, (2008).
- [2] N. Yamamoto et al., J. Appl. Phys. **102**, 024904 (2007).
- [3] C. K. Sinclair et al., Phys. Rev. STAB **10**, 023501 (2007).
- [4] M. Sawamura et al., 第21回リニアック研究会プロシーディングス, 317 (1996).
- [5] A. Krycuk et al., “Construction of the CEBAF RF Separator”, PAC1993, 939 (939).
- [6] S. Belomestnykh et al., “Deflecting Cavity for Beam Diagnostics in ERL Injector”, PAC2007, 2331 (2007).
- [7] I. V. Bazarov et al., Phys. Rev. STAB **11**, 040702 (2008).
- [8] R. Akre et al., “Bunch Length Measurements Using a Transverse RF Deflecting Structure in the SLAC Linac”, EPAC2002, 1882 (2002).
- [9] D. Alesini et al., NIMA **568**, 488 (2006).