

[F16p16]

# DEVELOPMENT OF A 114.24 MHz SUB-HARMONIC BUNCHER FOR THE KEKB INJECTOR LINAC

Seiya YAMAGUCHI, Satoshi OHSAWA, Mitsuo IKEDA, Atsushi ENOMOTO  
and Yasuhito IGARASHI\*

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

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

\* Mitsubishi Heavy Industries, Ltd, Nagoya Aerospace Systems  
10, Oye, Minato, Nagoya, Aichi, 455-8515

## Abstract

A 114.24-MHz sub-harmonic buncher cavity was newly developed to improve the single-bunch purity of the KEKB injector linac. The cavity was designed so as to have a high shunt impedance and a low maximum surface field at the acceleration gap. To reduce the probability of rf breakdown, the inner wall of the cavity was electrolytic-polished and a vacuum pump-out was put at the end wall of the cavity. Copper was selected as the structural material (it was copper-plated stainless steel for the old cavity) in order to improve the water-cooling capability and to reduce the resonant frequency shift by the gap-distance change when the input power increases. A cold test showed a shunt impedance of 1.2 M $\Omega$ m, which is twice as large as that for the old cavity. The design, fabrication and results of low- and high-power tests and a beam-acceleration test are described.

## KEKB 入射器用 114.24MHz サブハーモニックバンチャーの開発

### 1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構電子陽電子入射器では KEKB プロジェクトのための単バンチ生成用サブハーモニックバンチャーとして、114.24MHz のもの (SHB1) と 571.2MHz のもの (SHB2) を用いているが、従来のシステムでは大電流の場合 (10nC/バンチ) に十分なバンチ純度が得られていなかった (全電荷量に対する主バンチの電荷量の割合は約 80%)。そこで、SHB1 を新に開発することにし[1,2]、シャントインピーダンスを 1.7 倍程度大きくすることとした。また、既存の空洞は冷却性能が悪く、消費電力が大きくなるに従い共振周波数がゆっくり変わってしまうという問題があったので、構造材料をステンレス鋼から無酸素銅に変えとともに、冷却配管の最適化をおこなった。本稿では、設計、製作、低・大電力試験の結果とともに、ビーム加速試験の結果について報告する。

### 2. 設計

空洞のシャントインピーダンスが大きいほどバンチの純度はあがるわけであるが、PARMELA のシミュレーションにより、旧空洞のシャントインピーダンス (測定値約 0.55M $\Omega$ m) を約 1.7 倍大きくすればサテライトバンチを 1% 以下 (現状は 20%) にすることが可能であることが示されているので[2]、それを目標に空洞の寸法を決定することにした。ただし、収束コイルの内径が 200mm であるため空洞の外径はそれよりも少し小さい 196mm 以下となる

ようにした。

一方、旧空洞は構造材料として銅メッキしたステンレス鋼 (SUS304) を用いており (内導体の短ノーズのみ無酸素銅)、また、外導体のみ冷却しているため、特に内導体の冷却性能が悪く、入力電力を変えると共振周波数が変わってしまうという問題があった。そこで、新空洞では構造材料として無酸素銅を採用し、内導体および両側端板を冷却することにした。

シャントインピーダンス ( $R$ ) の内導体半径 ( $a$ ) および外導体半径 ( $b$ ) 依存性を図 1 に示す。これより、 $a$  の値は旧空洞の値 (32.5mm) を 30mm にし、 $b$  の値は旧空洞の値 (75.5mm) を 90mm にすればシャントインピーダンスを約 1.7 倍にすることができることがわかる。

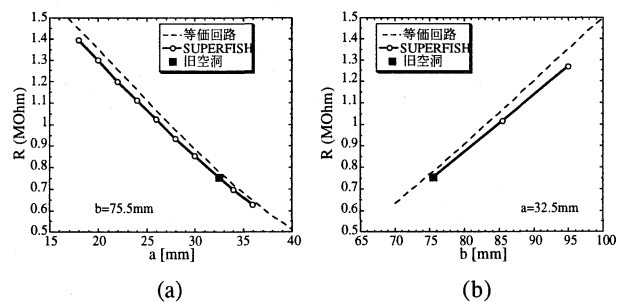


図 1 シャントインピーダンスの各寸法依存性. (a) 内導体半径,  $a$ , (b) 外導体半径,  $b$ .

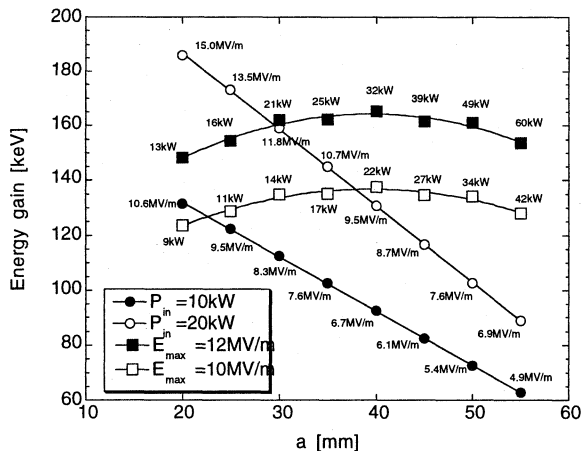


図2 エネルギー利得と内導体半径の関係。入力電力一定の場合と最大電界強度一定の場合。

図2はエネルギー利得と内導体半径、 $a$  の関係を表わしたものであるが、図からあきらかなように、入力電力一定の条件のもとでは  $a$  が小さいほどシャントインピーダンスは増加するが、最大電界強度一定という条件のもとでは、 $a=40\text{mm}$  付近でエネルギー利得は最大となる。ここでは当面入手可能な電源電力が10kWであることと、ビームパイプを細くしすぎるとビーム調整が困難になることを考慮し、 $a$  の値は30mmに決定した。

ギャップ間隔については、広いほど最大電界強度(ギャップの長ノズ側で発生)は下がるので、新空洞のギャップは40mmとすることにした(旧空洞は18mm)。ギャップを広げるとシャントインピーダンスも下がるが、数%にすぎない(図3)。

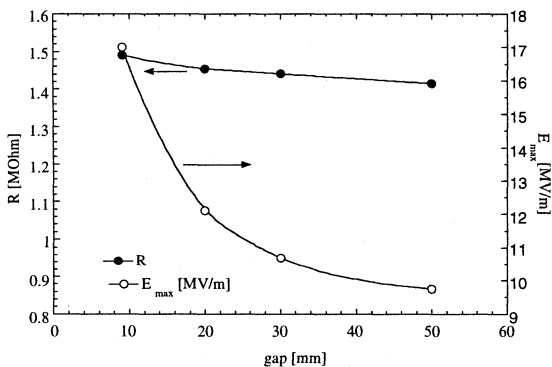


図3 ギャップ間隔と最大電場強度、シャントインピーダンスの関係。

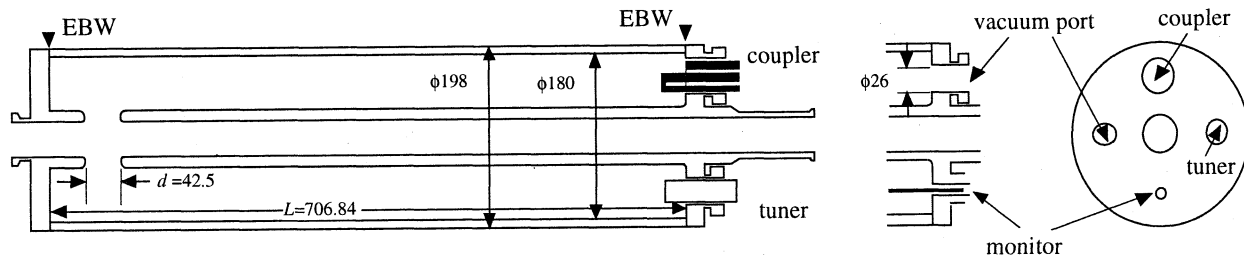


図4 SHB 空洞の断面図。

最終的に決定された空洞寸法に対し、シャントインピーダンスの計算値は  $1.28\text{M}\Omega$  と旧空洞の計算値  $0.77\text{M}\Omega$  の1.7倍の値が得られている。

RF電力入力用カップラーは旧空洞のループアンテナ方式は放電の心配があるので同軸管(20D)を用いることにした。

周波数の微調整は銅のロッドを空洞内に挿入することで行なうことにした。計算(MAFIA)によればストローク40mmで200kHzの周波数変化量が得られる。チューナーは超音波モーターを用いた遠隔操作により制御可能なようにし(磁場中では通常はモーターは使用できない)、現在位置はロータリーエンコーダーによりモニターした。

空洞内のRFモニターとしては、プローブアンテナ( $\phi 2\text{mm} \times 50\text{mm}$ )を採用した。

空洞内の真空を良くするため、カップラー等の設置されている側の端板に真空ポートを設け、出口付近に10l/sのイオンポンプを設置した。また、空洞内面全体に電界研磨(約 $20\mu\text{m}$ )を施した。

図4に今回設計製作したSHB空洞の断面図を示す。

### 3. 低電力試験

共振周波数の調整は内導体の短ノズ( $d$ ) および長ノズ( $d_L$ ) を削りながら行ない、チューナーの挿入量が最大値の半分である20mmのときに目標とする周波数114.24MHzとなるようにした。共振周波数の各寸法に対する感度を表1に示す。

表1 共振周波数の各寸法に対する感度。単位はkHz/mm  
計算はSUPERFISHによる。

	$\frac{df}{dL_R}$	$\frac{df}{dL_L}$	$\frac{df}{dd_R}$	$\frac{df}{dd_L}$
計算	174.18	0	210.73	36.95
測定	-	-	200.0	36.3

高周波特性の低電力試験の測定結果を表2に示す。 $Q_0$ の計算値と測定値の比  $Q_0^{\text{測}}/Q_0^{\text{計}}$  は0.93となり、旧空洞の値(0.75)に比べ約20%改善されている。これは旧空洞が両端板と外導体をボルト・ナットで接合していたのに対し、新空洞では電子ビーム溶接(EBW)により接合したので電氣的接触が良くなったためと考えられる。カップラーの結合係数  $\beta$  は1.04、アンテナの結合係数は-44dBであった。

表2 低電力試験の結果. 計算は SUPERFISH による.

計算	測定				$Q_0$	$Q_0^{\text{測}}/Q_0^{\text{計}}$
	$Q_0$	$Q_c$	$Q_L$	$\beta$		
7523	6989	6741	3433	1.04	0.93	

シャントインピーダンスは Gintzton の方法[3]により測定した. 図5に摂動法により測定した軸上電場分布を示す. ビードは直径4, 6, 8 mmの金属球を用いた. 図6に球の体積とシャントインピーダンスの関係を示す. この図の直線を体積ゼロへ外挿した値 (1.15M $\Omega$ ) をシャントインピーダンスの測定値とした.

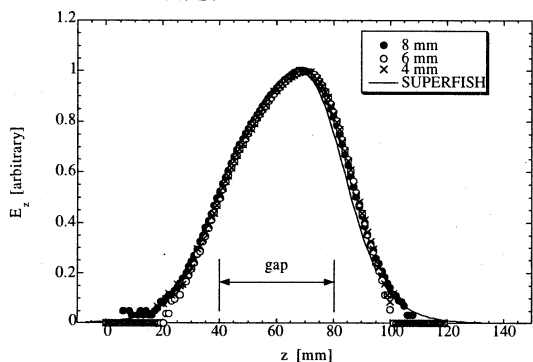


図5 摂動法により測定した電場分布.

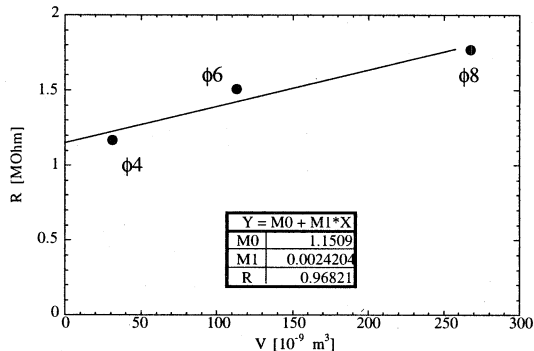


図6 ビードの体積とシャントインピーダンスの関係.

#### 4. 大電力試験

Rf コンディショニングは磁場をかけない状態で入力電力が10kW に達するまでに10日間, 磁場をかけた状態でさらに2日間, 合計12日間で入力電力, 磁場ともに所定の値に達した. この間, 共振周波数の変化はなかった. 図7に10kW入力時のパルス波形を示す. 時定数は約10 $\mu$ sであった(計算値=2Q<sub>L</sub>/ $\omega$ =9.6 $\mu$ s).

#### 5. ビーム加速試験

完成した SHB 空洞をビームラインに設置し, ビーム加速試験を行なった. ビームの電荷量は電子銃出口で12nCである. 旧空洞と, 新空洞のバンチの様子をストリークカメラ[4]で観測した結果を図8に示す. バンチの純度は80から99%以上に改善されている.

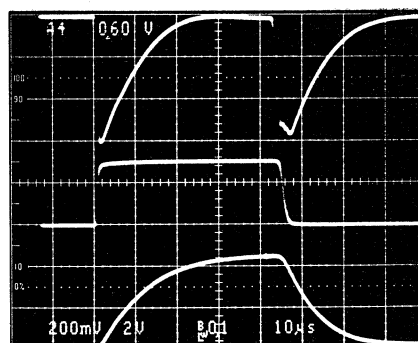
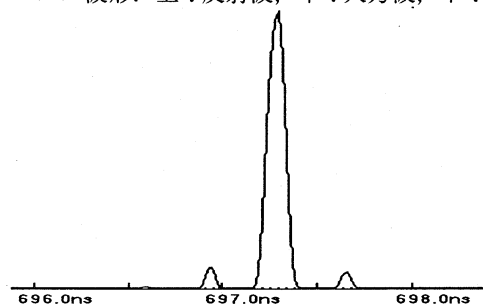
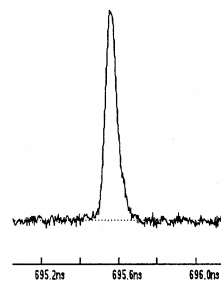


図7 パルス波形. 上:反射波, 中:入力波, 下:透過波.



(a)



(b)

図8 単バンチビームの強度分布. (a):旧SHB, (b):新SHB.

#### 6. まとめ

KEKBのための単バンチ生成用114.24MHzサブハーモニックバンチャーを新に開発した. シャントインピーダンスが旧空洞の2倍に増えた結果, ほぼ100%のバンチ純度を得ることができた.

#### 謝辞

KEKの早野仁司氏には空洞の設計に関し貴重な助言を頂き, また, 同両角祐氏には本空洞用カプラーの製作に御協力いただいた. 感謝いたします.

#### 参考文献

- [1] 紙谷, 他, 本研究会.
- [2] 大沢, 他, 本研究会.
- [3] Gintzton, E. L.: "Microwave Measurements," McGraw-Hill, New-York, 1957.
- [4] 小川, 他, 第22回リニアック技術研究会予稿集.