

次世代放射光リングのための入射器加速空洞の製造

MANUFACTURE OF RF CAVITIES AND C-BAND ACCELERATING STRUCTURE FOR THE INJECTOR LINAC

比嘉究作^{#, A)}, 重岡伸之^{A)},
安積隆夫^{B,C,D)}, 稲垣隆宏^{C,D)}, 谷内努^{D)}, 西森信行^{B)}, 田中均^{C)}
Kiyusaku Higa^{#, A)}, Nobuyuki Shigeoka^{A)},
Takao Asaka^{B)}, Takahiro Inagaki^{C)}, Tsutomu Taniuchi^{D)}, Nobuyuki Nishimori^{B)}, Hitoshi Tanaka^{C)}
^{A)} Mitsubishi Heavy Industries Machinery Systems, Ltd.
^{B)} National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST)
^{C)} RIKEN SPring-8 Center (RSC)
^{D)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)

Abstract

The SR(Synchrotron Radiation) ring with high brightness is planned as a next generation synchrotron radiation facility. In the electron injector of the SR ring, the electron beam generated by the thermionic gun is accelerated by the 238 MHz accelerating cavity and is compressed by the 476 MHz Sub Harmonic Buncher (SHB) to obtain a low emittance beam with a bunch length of 5 ps. Mitsubishi Heavy Industries Machinery Systems, Ltd. (MHI-MS) has fabricated the 238 MHz accelerating cavity and the 476 MHz SHB for use in the demonstration test of high brightness electron beam production. Both the 238 MHz accelerating cavity and the 476 MHz SHB are standing wave type cavities of reentrant structure. In the low-power test, the center frequency was adjusted by the tuner at the operating temperature, and Q_0 values of 23062 and 25743 were obtained, respectively. Four C-band disk-loaded type accelerating structures were also manufactured. In this paper, we report the fabrication, low-power test results of the 238 MHz accelerating cavity, the 476 MHz SHB, and C-band disk-loaded accelerating structures are shown.

1. はじめに

次世代放射光リングの入射用 3 GeV 線型加速器は、低エミッタンス電子銃システムを備える入射部と 20 台の C バンド加速ユニットから構成される[1]。50 kV 電子銃と 238 MHz 加速空洞から成る電子銃システムでは、500 keV 低エミッタンスビームを生成し、その後、476 MHz サブハーモニックバンチャー(SHB)によるバンチ圧縮を行う。現在、SPring-8 において、電子銃システム、ならびに入射部による低エミッタンスビーム生成のための実証試験が進められている[2]。また、主加速部で使用する C バンドクライストロン、RF パルス圧縮器、2 本の加速管から構成される加速ユニットの構築をおこない、RF コンディショニングを行なっている[3]。

三菱重工機械システム株式会社では、高輝度電子ビーム生成の実証試験で使用する 238 MHz 加速空洞、476 MHz サブハーモニックバンチャー(SHB)及び加速ユニットで使用する C バンドディスクロード型加速管を製作した。低電力高周波測定においては、いずれも要求仕様を満たす結果が得られた。本稿では、238 MHz 加速空洞、476 MHz SHB 及び C バンドディスクロード型加速管の製造及び低電力試験の結果について詳細報告する。

2. 238MHz加速空洞

2.1 設計・製作

Figure 1 に示すように空洞構造は、電子銃から出てきたビームを直ちに加速できるように、加速ギャップ位置が空洞中心より上流側へオフセットしている。上流側端板には、電子銃を直接接続するため $\phi 330$ mm のフランジが設けられる。高周波入力カプラー、周波数調整用チューナー及び RF ピックアップはノーズから離れた下流側端板に取り付けられており、加速ギャップ部分の電磁場対称性を乱さないように考慮している。空洞胴体中央に真空排気ポートを設けている。

加速ギャップが上流側にオフセットしているため、Fig. 2 に示すように下流側ノーズにて電流密度が上昇し発熱する。このため、効率的な冷却を行う必要があり、下流側ノーズ部に冷却水路を設けた。

加速空洞の製作は、上下流端板と空洞胴体を仮組し低電力高周波測定・調整加工を行い、概ね 238 MHz となるように周波数調整後、真空炉にて胴体と端板のろう付けを行った。Figure 3 に完成した 238 MHz 加速空洞を示す。

[#]kyusakul_higa@mhims.co.jp

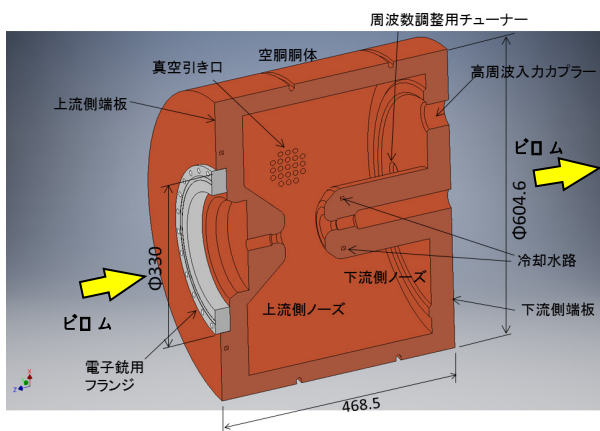


Figure 1: Cross section of 238 MHz cavity.

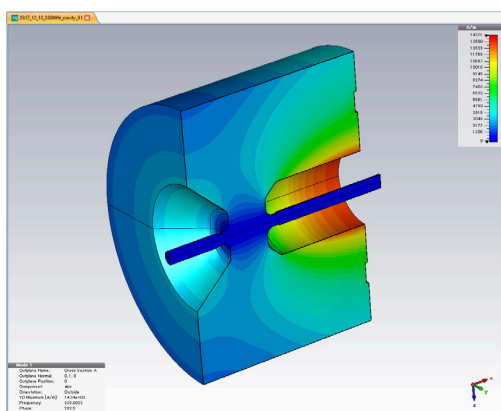


Figure 2: Current density of 238 MHz cavity.

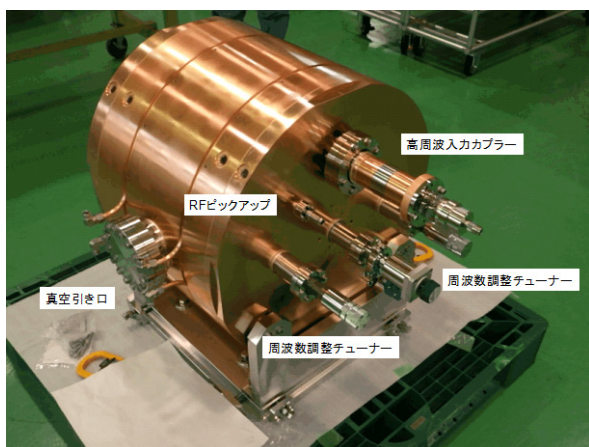


Figure 3: Photograph of the 238 MHz cavity.

2.2 低電力試験結果

空洞ろう付け後、空洞内部を真空、空洞温度を 28 °C として低電力の高周波測定及び、摂動法による電界分布測定を実施した。

低電力高周波測定は、Table 1 に示すように要求仕様を満たす結果が得られた。チューナーの周波数調整範囲を Fig. 4 に示す。

シャントインピーダンスは、摂動法による電界分布測定により求めた。測定に用いた摂動物は直径約 4.8 mm の銅球を使用した。測定結果は、Fig. 5 に示すように、SUPERFISH のシミュレーションと一致する結果が得られた。

Table 1: Result of the Low Power RF Measurement for 238 MHz RF Cavity

	要求仕様	測定結果
中心周波数	238 MHz	238.0 MHz
周波数調整範囲	237.94~238.1 MHz	237.90~238.30 MHz
Q 値	20000 以上	23062
シャントインピーダンス	5.4 MΩ 以上	6.17 MΩ
RF カプラー結合度	1.2±0.1	1.19

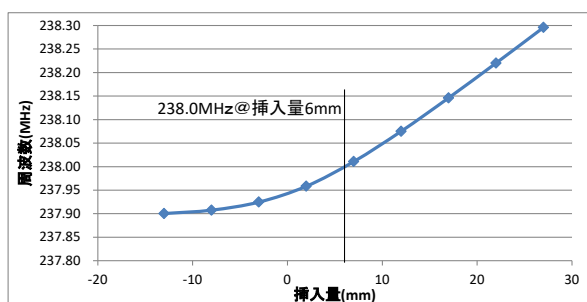


Figure 4: Graph of the tuner adjustment range.

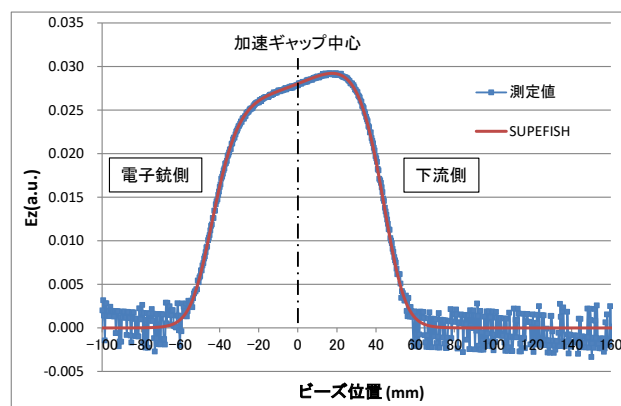


Figure 5: Graph of the electric field.

3. 476MHz サブハーモニックバンチャー

3.1 製作

Figure 6 に 476 MHz サブハーモニックバンチャー (SHB)を示す。本空洞は、238MHz 加速空洞により加速されたビームをバンチ圧縮するための空洞である。SCSS 及び SACLA に納入。設置されている 476 MHz ブースター空洞[4]とほぼ同様の形状で、空洞中心に加速ギャップを有するリエントラント型空洞である。

SCSS/SACLA に設置されている 476 MHz ブースター空洞は、ピーク電力 120 kW であるが、今回製作した空洞では、10 kW であるため、77D・RF カプラーから 20D・RF カプラーへ変更した。

製作は、端板と空洞胴体を仮組し低電力高周波測定・調整加工を行い、概ね 476 MHz 周波数調整後、真空炉にて空洞と上下流端板をろう付けした。Figure 7 に 476 MHz サブハーモニックバンチャー (SHB) を示す。

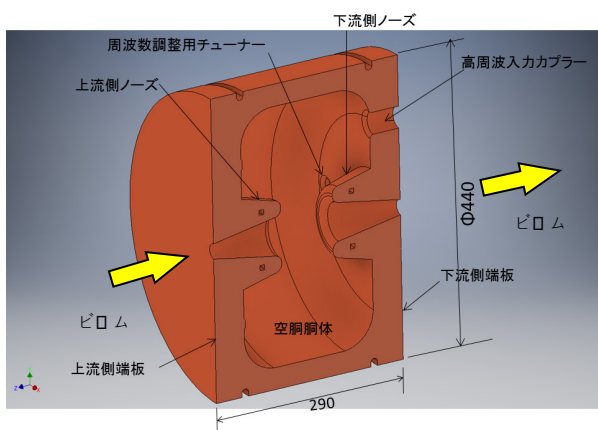


Figure 6: Cross Section of 476 MHz sub harmonic buncher cavity.

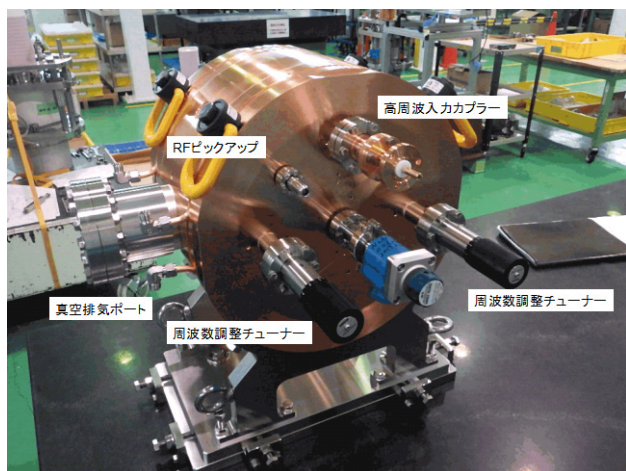


Figure 7: Photograph of the 476 MHz sub harmonic buncher cavity.

3.2 低電力試験結果

空洞ろう付け後、空洞内部を真空、空洞温度を 28 °C として低電力の高周波測定及び、摂動法による電界分布測定を実施した。

低電力高周波測定は、Table 2 に示すように要求仕様を満たす結果が得られた。チューナーの周波数調整範囲を Fig. 8 に示す。

シャントインピーダンスは、摂動法による電界分布測定により求めた。測定に用いた摂動物は直径約 4.8 mm の銅球を使用した。測定結果は Fig. 9 に示のように SUPERFISH のシミュレーションと一致する結果が得られた。

Table 2: Result of the Low Power RF Measurement for 476 MHz Buncher Cavity

	要求仕様	測定結果
中心周波数	476 MHz	476.0 MHz
周波数調整範囲	475.95~476.05MHz	475.94~476.08 MHz
Q 値	22000 以上	25743
シャントインピーダンス	6.8 MΩ 以上	6.91 MΩ
RF カプラ結合度	1.2±0.1	1.16

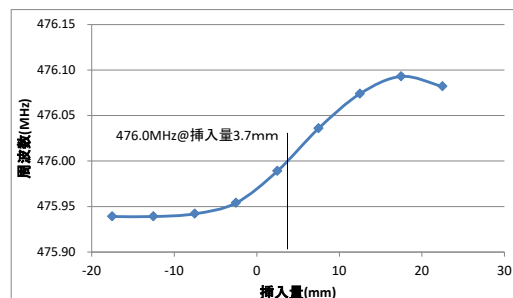


Figure 8: Graph of the tuner adjustment range.

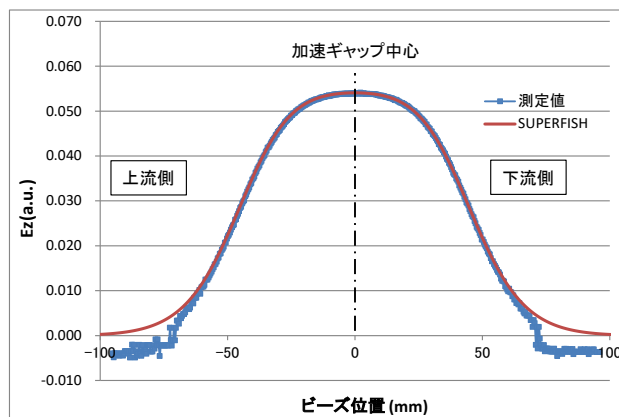


Figure 9: Graph of the electric field.

4. C バンドディスクロード型加速管

4.1 設計・製作

C バンドディスクロード型加速管の基本的な構造は、SACLA-BL1 加速器に納入・設置されている C バンド加速管と同型である[5]。この C バンド加速管は $2\pi/3$ モードの準定勾配型加速管であり、シャントインピーダンスは 55 MΩ/m 以上となる。今回、加速管を 4 台製作した。

加速管のセル数が 112+2 セルに増加し、全長が 2 m となる。それに伴うカプラーの再設計と試作を省略するため下流側カプラーは SACLA-BL1 加速器に設置されているのものと同型とした。また、ディスクのビーム孔エッジについても同様に放電低減を考慮し楕円面取りを施している。セル数の増加したことに伴いディスクビーム孔直径の勾配を変更した。カプラー部は J 型 2 フィード型とした。

カプラー周波数及び位相は、カプラー部を仮組し RF 測定を行い、空洞内径の加工による周波数調整を行った。

加速管チューニングは、レギュラーセルのシリンダー部にデインプリングにてチューニングするための穴を4箇所設けている。カップラーを含めた加速管全体のろう付け後、ノードルシフト法により、1空胴毎の位相シフトが 120° となるように加速管全体の周波数調整を行った。Figure 10 に完成した C バンドディスクロード型加速管を示す。

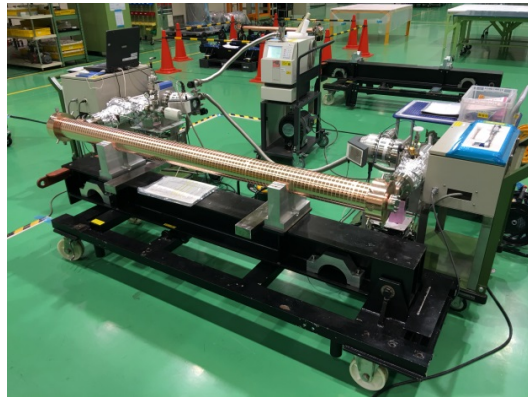


Figure 10: C-band disk-loaded accelerating structure.

4.2 低電力試験結果

チューニングが完了した加速管の累積位相誤差、加速モードにおける Q 値、VSWR、減衰パラメーター τ 、フィリングタイムを測定した結果を Table 3 に示す。

いずれの号機についても要求仕様を満たす結果が得られた。参考として No.003 号機の累積位相誤差測定結果を Fig. 11 に示す。

Table 3: Result of the Low Power RF Measurement for C-band Accelerating Structure.

	要求仕様	No.001	No.002	No.003	No.004
中心周波数(MHz)	5712 ± 0.2	5712.00	5712.00	5712.00	5712.00
位相誤差	$\pm 3^\circ$	$\pm 2.04^\circ$	$\pm 1.9^\circ$	± 2.08	$\pm 2.00^\circ$
入力	1.1 以下	1.07	1.04	1.06	1.06
VSWR					
τ	0.6 程度	0.60	0.60	0.61	0.60
tF(ns)	300 程度	304	304	304	304
Q 値	8000 以上	9131	9075	8932	9043

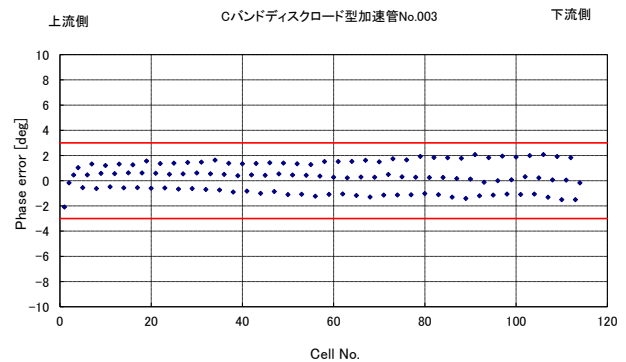


Figure 11: Graph of the cumulative phase error.

5. まとめ

238 MHz 高周波空胴、476 MHz バンチャー空胴及び C バンドディスクロード型加速管 4 台を製作し、いずれについても要求仕様を満足した。現在、SPring-8 で実施している大電力高周波試験では順調に RF コンディショニングが進行し、安定動作を確認している。これにより、次世代放射光リング用線形加速器で使用を予定している空胴群、加速管の製作方法を確立したといえる。

参考文献

- [1] T.Asaka *et al.*, "BASIC DESIGN OF 3-GeV LINEAR ACCELERATOR FOR A NEXT-GENERATION SR SOURCE", Proceedings of the PASJ16.
- [2] T.Asaka *et al.*, "DEVELOPMENT OF LOW-EMITTANCE GRIDDED THERMONIC ELECTRON GUN EMBEDDED A SINGLE CAVITY WITH VOLTAGE OPTIMIZED ELECTRODES", Proceedings of the PASJ16.
- [3] T.Inagaki *et al.*, "BASIC DESIGN OF 3-GeV INJECTOR LINAC FOR A NEXT-GENERATION SR SOURCE", Proceedings of the PASJ16.
- [4] Tatsuomi Hashirano *et al.*, "Development of the 476MHz Cavity for SASE-FEL", Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan.
- [5] Daisuke Suzuki *et al.*, "PRODUCTION OF C-BAND DISK-LOADED TYPE CG ACCELERATING STRUCTURE", Proceedings of the PASJ11.