

Manufacturing of the C-band Chork-Mode Type Accelerating Structure for SASE-FEL of RIKEN

Sadao Miura^{1,A)}, Tsumoru Shintake^{B)}, Takahiro Inagaki^{B)}, Hiroshi Matsumoto^{C)}

^{A)} Mitsubishi Heavy Industries, LTD.

5007 Itozaki-cyo, Mihara City, Hiroshima Pref. 723-0393

^{B)} RIKEN Harima Insitute/SPring-8

1-1-1 Koto, Sayo-cyo, Sayo-gun, Hyogo Pref. 679-5198

^{C)} KEK

1-1 Oho, Tsukuba City, Ibaragi Pref. 305-0801

Abstract

We report on the result of Manufacturing four C-band Chork-Mode type accelerating structure for SASE-FEL test Linac of Riken. First accelerating structure was produced in MHI in 2002^[1]. This accelerating structure was supplied to the high gradient test, and the result that the RF input can be done with electric field 33MV/m on the axis, RF pulse width 1.2μs, and 30pps without trouble was obtained^[2]. This time, we produced three accelerating structures further. We report on the manufacturing and the finality low level RF examination result of these accelerating structures.

理研SASE-FEL計画用Cバンドチョークモード型加速管の製造

1. はじめに

本加速管は、運転周波数5712MHz、空胴数89+2カブラーセル、 $Q=0.53$, $tF=296ns$ 、加速モード3/4モード、外径 154mm、全長1.8mの準定電場勾配型進行波加速管で、レギュラーセルはチョーク型構造、カブラー空胴はJ型2開口型である。チョークモード型加速構造(図1)は、1992年にKEK(現理研)新竹主任研究員により提案^[3]されたもので、ビームが誘起する高調波を減衰させる構造をもつため、後続のビームが高調波の影響を受けず、低エミッタンスのビームを安定に加速できるという特徴を持つ。

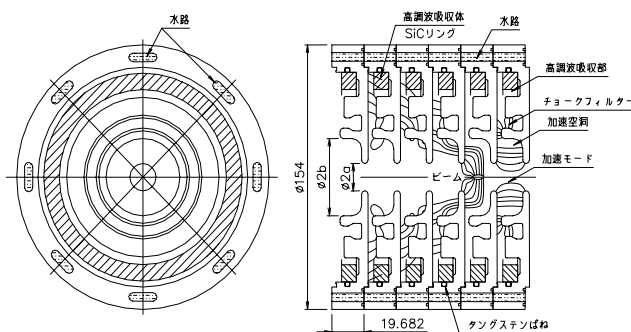


図1: チョーク型加速構造

2. 加速管セルの加工

加速管材質は無酸素銅Class-1をHIP処理したものを使用した。内面は超精密旋盤にて鏡面加工を行い、最終組立はろう付けにより接合した。

本加速管の、全空胴の平均加工精度 ± 1 μm が要求

される。空胴は、RF測定を行いながら、内径を修正加工する。しかしながら、空胴の厚さばらつきおよび機械の軸方向変動により、修正加工時に削り過ぎ、不足を生じた(図2)。このため、オンマシンにて空胴端面をレーザー測長して位置補正して加工する方法をとった(図3)。レーザー測長器は、繰り返し精度0.05 μmのKEYENCE製LK-G35を使用した。これにより、中心周波数 $f_0=5712 \pm 0.1MHz$ 、累積移相誤差 $\Delta\phi = \pm 5deg$ という結果が得られた(表1、図4)。

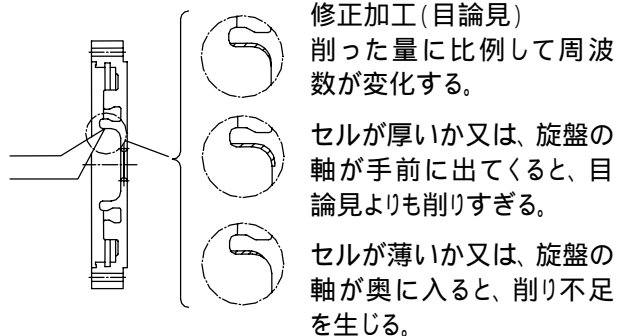


図2: 軸方向変動による、修正加工時の削り過ぎ、削り不足

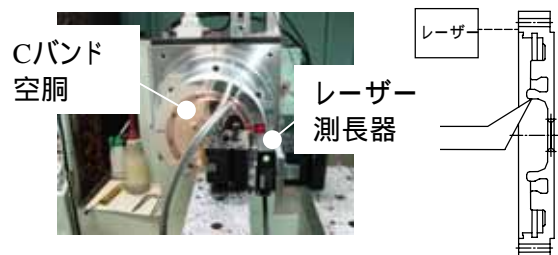


図3: オンマシンレーザー測長超精密加工

¹ E-mail: sadao_miura@mhi.co.jp

表1:移相誤差測定結果

	中心周波数	累積移相誤差
# 2号機	5711.940MHz	$\pm 5^\circ$
# 3号機	5712.026MHz	$\pm 5^\circ$
# 4号機	5711.958MHz	$\pm 5^\circ$

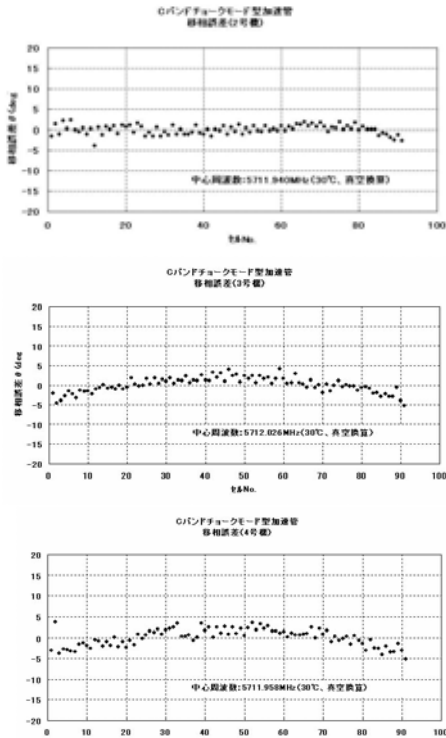


図4:移相誤差測定データ (#2~4号機)

3. カプラーの調整

3.1 J型ダブルフィードカプラー

本加速管のカプラーの構造は、アイリス部の電界を下げるためと、ビームエミッタンスの増加を補償するカプラー空胴内の電磁場対象性を確保するために、KEK松本助教授の考案したJ型2開口型が採用されている^[4](図5)。本カプラーは、マイクロ波の伝播特性を利用して、構造の単純化が図られている。

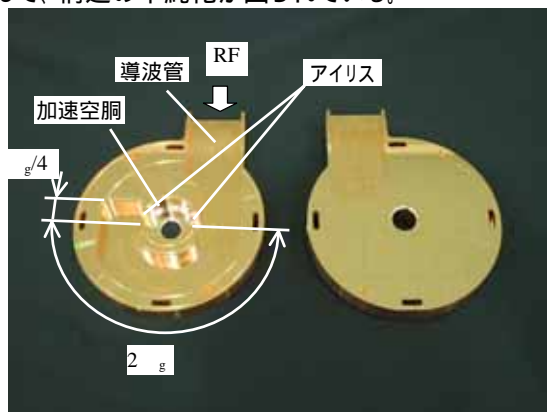


図5:J型ダブルフィードカプラー

進行波加速管のカプラーの調整にはR.L.kyle^[5]の方法がよく使用され、この方法は非常に調整しやすい方法である。しかしながら本加速管の場合、カプラー空胴はTM01モード、加速空胴は擬TM02モードであり、カプラー空胴とレギュラー空胴のR/Qが大きく異なる。このため、本加速管にはR.L.kyleの方法は適用できない。また、前述のように、J型カプラー導波管長は、運転周波数で管内波長の整数倍又は整数分の1に設定されている。このカプラーの調整に運転周波数以外の周波数を用いるR.L.kyleの方法は適当ではない。

このため、本カプラーの調整には、筆者が開発した新しいカプラー調整手法^[6]を適用することにより、運転周波数で、入出力VSWR1.05以下という結果が得られた(図7)。本調整方法は具体的には次節に示すような方法である。理論的根拠については参考文献参照。

3.2 新しいカプラーの調整方法

まず、ビームホール径が上流側及び下流側カプラーに等しい6セルCI管を用意する。カプラーは、MAFIA等にて計算して予想された値よりも、空胴内径、アイリス幅初期値を小さめの値で製作する。このカプラーと6セルCI管を接続し、ネットワークアナライザーで発生したマイクロ波を、カプラー導波管側から同軸導波管変換器を介してカプラーに導入する。6セルCI管の、カプラー空胴を接続した反対側より、金属製ブランジャーを挿入し、カプラー空胴、レギュラー空胴をディチューンする。ディチューン面から反射してきたマイクロ波の振幅、位相をネットワークアナライザーで検出した。さらに、カプラー空胴には、空胴の周波数を下げるためのチューナーを装着した。調整の手順は次の通りである。

まず、カプラー空胴共振周波数の調整を行う。測定周波数を運転周波数(5712MHz)に固定する。金属性ブランジャーでカプラー空胴をディチューンし、その後、第3空胴をディチューンする。運転周波数で、この時、反射波の位相差が 180° となるように、カプラー空胴にチューナーを挿入する。この時、カプラー空胴の移相は $3/4$ に調整されたことになる。

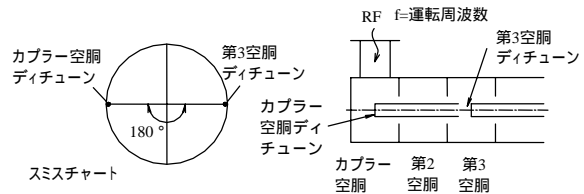


図6:カプラー空胴移相の調整(3/4モード)

次に、カップリングの測定を行う。チューナーを挿入した状態で、カプラー空胴をショートブランジャーでディチューンした後、第2空胴をディチューンし、反射波の位相遅れ θ を測定する。位相遅れ θ が 270° より大きければ、アンダーカップルであるので、カプラーアイリス幅(W)の拡大修正加工を行う。位相遅れ θ が 270° より小さければ、カプラーアイリスは既に大きすぎることになる。カップリング調整後チューナーを挿入した分だけカプラー空胴内径を修正加工する。

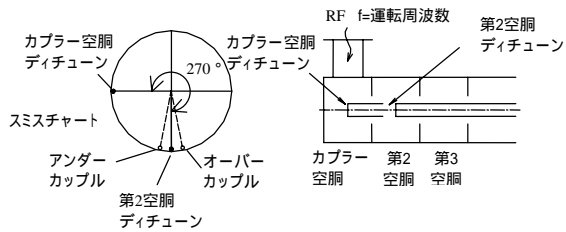


図6: カプラー空胴カップリングの調整(3/4モード)

表2: 入出力VSWR測定結果

	入力VSWR	出力VSWR
# 2号機	1.04	1.03
# 3号機	1.03	1.03
# 4号機	1.04	1.01

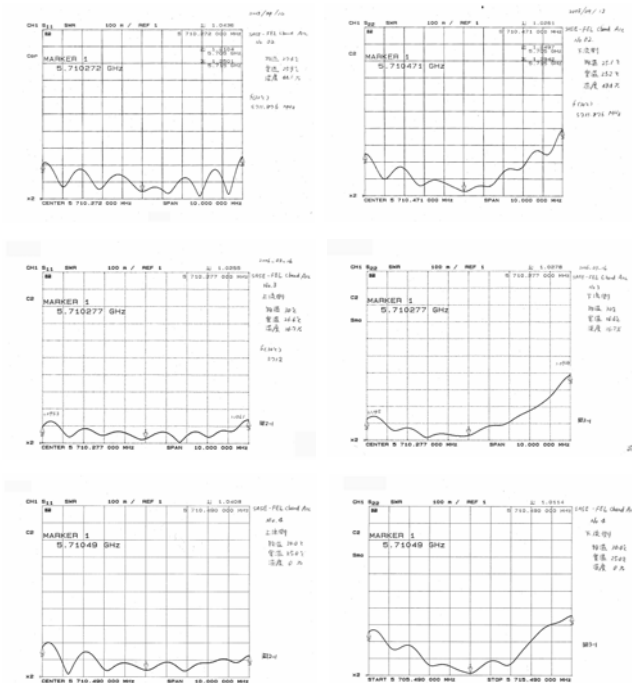


図7: 入出力VSWR

4. 最後に

これらの加速管は、理研にて軸上電界32MV/m、RFパルス幅0.5 μ s、60ppsでRFエージングを完了し、軸上電界28MV/mで安定に電子ビームを加速している^[7]。

参考文献

- [1] S. Miura et al., “Cバンドチョークモード型加速管の製作”, Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan
- [2] T. Inagaki, et al., “HIGH GRADIENT TEST ON THE C-BAND CHOKE-MODE TYPE ACCELERATING STRUCTURE”, Proc. 2nd Particle Accelerator Society of Japan, 2005
- [3] T. Shintake. “The Chork Mode Cavity”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 31 (1992) pp.L1567-L1570, Part2, No.11A, 1 Nov. 1992
- [4] H. Matsumoto et al. “Fabrication of the C-band (5712MHz) Choke-Mode Type Damping Accelerating Structure”, Proceedings of the 24th Linear Accelerator Meeting in Japan
- [5] E. Westbrook, “Microwave Impedance Matching of Feed Waveguides to the Disk-Loaded Accelerator Structure Operating in the 2/3 Mode”, SLAC-TN-63-103.1963.
- [6] S. Miura. “進行波加速管の精密インピーダンス調整方法”, 総研大博士申請論文, 2006年出版予定
- [7] K. Shirasawa., et al. “OPERATIONAL EXPERIENCE OF C-BAND ACCELERATOR AT THE SCSS PROTOTYPE LINAC”, these proceedings.