

## MASS PRODUCTION REPORT OF C-BAND ACCELERATING STRUCTURES

Sadao Miura<sup>1,A)</sup>, Tatsuomi Hashirano<sup>A)</sup>, Fumiaki Inoue<sup>A)</sup>, Kazunori Okihira<sup>A)</sup>,  
Tsumoru Shintake<sup>B)</sup>, Takahiro Inagaki<sup>B)</sup>, Hirokazu Maesaka<sup>B)</sup>, Noriyoshi Azumi<sup>B)</sup>,  
Sakuo Matsui<sup>C)</sup>, Hiroaki Kimura<sup>C)</sup>, Hiroshi Matsumoto<sup>D)</sup>

<sup>A)</sup> Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., 1-1-1 Itozaki Minami, Mihara-shi, Hiroshima, 729-0393

<sup>B)</sup> SPring-8 / RIKEN Harima Institute, 1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5148

<sup>C)</sup> SPring-8 / JASRI, 1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5148

<sup>D)</sup> KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaragi, 305-0801

### Abstract

An X-ray free electron laser (XFEL) is under construction in RIKEN/Spring-8. This facilities is planned to realize the X-ray laser in the spring of 2011. Mitsubishi Heavy Industries (MHI) began mass production of S-Band and C-band accelerating structures and SLED and waveguides from February 2007 for RIKEN X-FEL Project, and completed all components in March 2010. It reports on these mass production results and measurements results of accelerating structures.

## Cバンドチョーク型加速管の量産結果報告

### 1. はじめに

理研/spring8ではX線自由電子レーザー(XFEL)施設を建設中であり、2011年春のレーザー発振を目指している。MHI(三菱重工業)は、2007年2月より、Cバンド、Sバンド加速管、SLED、導波管の量産を行い、2010年3月に全数の納入を完了した。ここでMHI製作物品の量産結果について報告する。

### 2. 量産結果

#### 2.1 電子ライナック

X線自由電子レーザー施設は8GeVの電子ライナックと真空封止アンジュレータで構成され、電子ライナックの主加速部にはCバンド加速器が採用されている。図1にX線自由電子レーザー計画電子加速器部のシステムブロック図概略を示す。図中赤枠で囲

た部分がMHI製作担当範囲である。MHIでは、Lバンド加速管を除くほとんどすべての加速空洞類及び真空導波管の製作を担当した。

#### 2.2 量産結果

図2,3に月毎の加速管、SLED、導波管の納入状況を示す。2007年2月の製作着手から約1年後の2008年1月より納入を開始した。加速管は途中、累積相誤差減少対策による3ヶ月の休止期間あるも、2010年2月までの約2年でCバンド、Sバンド加速管合計136台、Cバンド、SバンドSLED合計68台、Cバンド、Sバンド導波管合計952台の納入を完了した。

月あたりの平均納入台数は加速管約5台/月、SLED約3台/月、導波管約38台/月、月あたりの最大納入台数は加速管8台/月、SLED6台/月、導波管72台/月であった。

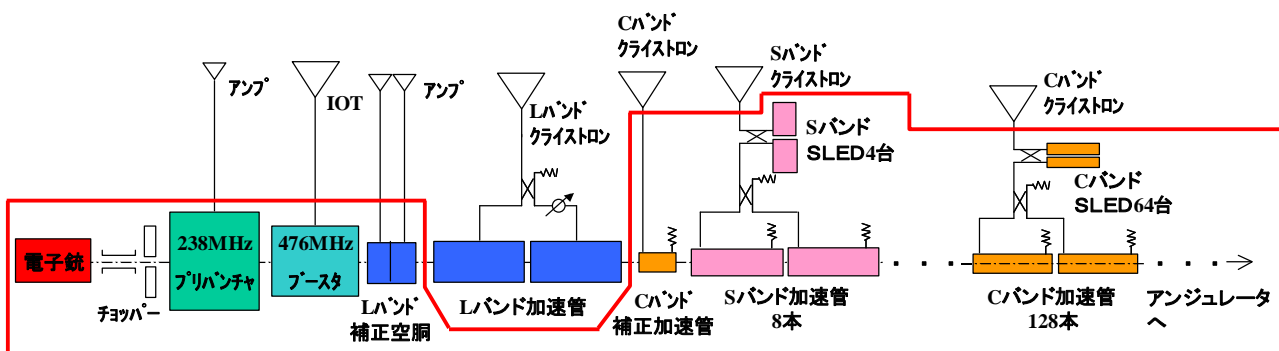


図1: X-FEL計画電子加速器部システムブロック図概略

MHI製作範囲

<sup>1</sup> E-mail: sadao\_miura@mhi.co.jp

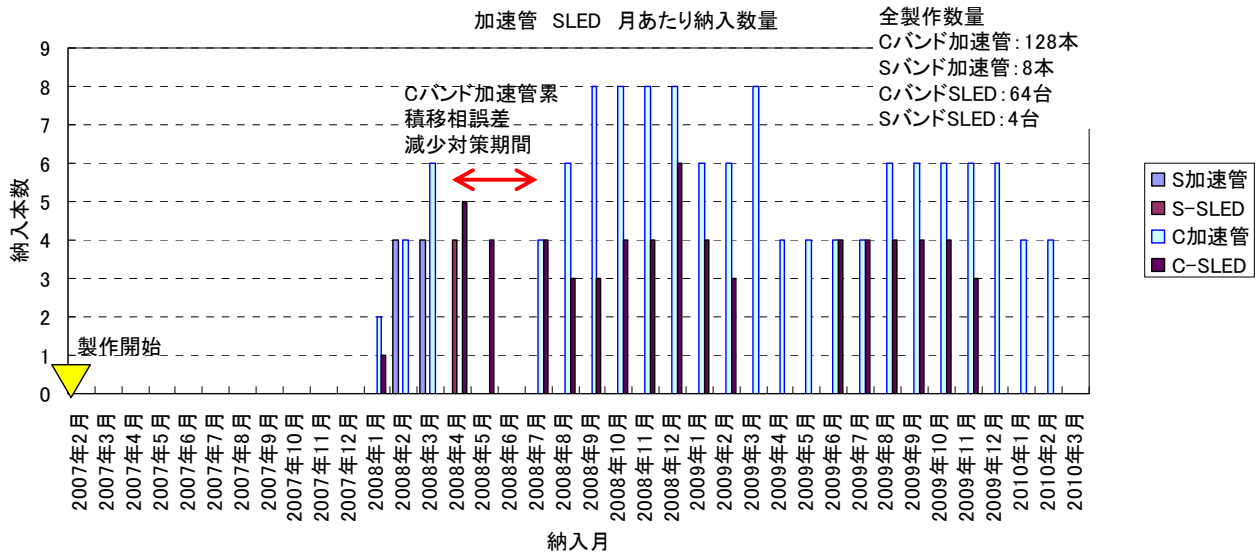


図2：加速管、SLED月あたり納入数量

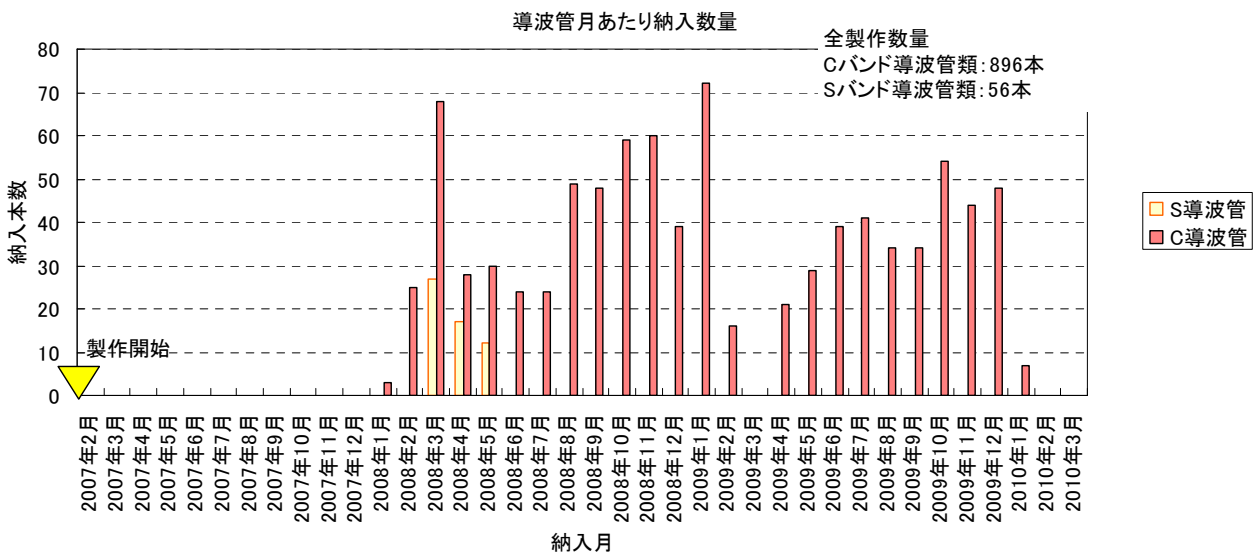


図3：導波管月あたり納入状況  
きるといふ特徴を持つ。

### 3. Cバンド加速管RF測定結果

#### 3.1 Cバンドチョーク型加速管

Cバンドチョーク型加速管は運転周波数5712MHz (30℃、真空中)、空洞数89+2カップラーセル、 $\tau=0.53$ 、 $tF=296\text{ns}$ 、加速モードは $3\pi/4$ 、外径 $\phi 157\text{mm}$ 、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、カップラー空洞はJ型2開口型である。加速管の全体図を図4に、主要パラメータを表1に示す。

チョークモード型加速構造(図5)は、1992年にKEK(現理研)新竹主任研究員により提案<sup>[1]</sup>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

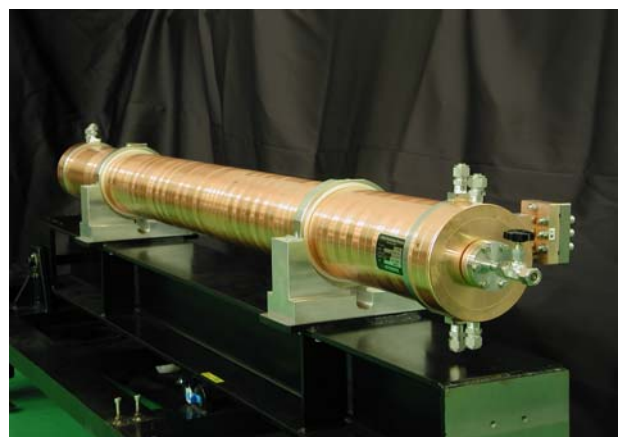


図4:Cバンドチョーク型加速管

表1：Cバンド加速管パラメータ

周波数 (MHz)	5712	
加速モード	$3\pi/4$	
加速タイプ	Quasi- C. G.	
空洞数	89+2coupler cell	
実効加速長	1791mm	
2a径	上流側	17.3mm
	下流側	13.6mm
2b径	上流側	45.7mm
	下流側	44.0mm
ディスク厚t	4mm	
Q	10200~9900	
群速度	0.031c~0.013c	
シャントインピーダンス	49.3~60.0MΩ/m	
$\tau$	0.53	
フィリングタイム	296ns	

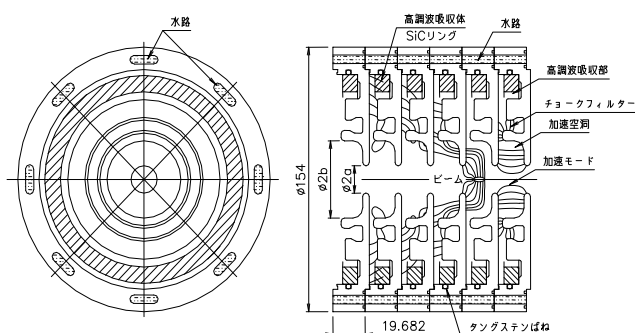


図5: チョーク型加速構造

加速管<sup>[2]</sup>の材料は、日立電線の高純度無酸素銅をHIP処理したものを用い、材料、HIP処理を含めて、超精密加工前までの機械加工は日立電線で行った。日立電線では、超精密加工面取り代0.03mm残し、寸法精度±0.01mmまでの機械加工を行った。その後、MHIにて、加速管1本あたり91枚のセル内面は超精密旋盤で鏡面仕上げし、真空ろう付けで組み立てた。個々の空洞の周波数は超精密旋盤で修正加工して調整しているために、最も負荷が高くなる超精密加工は昼夜勤で所内3台、協力会社1台（昼勤のみ）の旋盤で行った。

ろう付けは所内大型炉2台と小型炉1台を使用し、導波管を含めて大型炉7~8バッチ/月、小型炉4バッチ/月で処理した。

### 3.2 RF測定結果

図6にCバンド加速管ろう付け後周波数と目標値、図7に累積位相精度を示す。初期に製作した加速管は、SiCリング（高調波吸収体）を保持しているタングステンばねの強度が高すぎたため、ろう付け時の周波数変化が大きく、移相精度も大きかったが、タングステンばねの強度を最適なものに変更（累積移相誤差減少対策）した後<sup>[3]</sup>は、加速管のろう付け後周波数は平均5711.943MHz±0.12MHz、累積移相誤差±3°以下と安定した。

図8に加速管入出力VSWRを示す。本加速管のJ型2開口型カップラー<sup>[4]</sup>はすべて筆者が開発した新しいカップラーの調整方法<sup>[5]</sup>で調整し、128本の加速管入出力VSWRはすべて1.1以下（入力側平均VSWR1.036、出力側平均1.029）に抑えることができた。

図9に加速管チョークフィルターの平均周波数を示す。チョークフィルターの周波数が運転周波数（5712MHz）から外れると、加速RFがSiCリング側に漏れ出し、加速管のQ値を劣化させる。Q値の劣化を2%以下とするには、チョークフィルターの周波数は運転周波数±11MHz以内である必要があるが、図9から全数規定値内に収まっていることがわかる。

図10に加速管の曲がりを示す。加速管の曲がり は0.4mm以下（全幅）、平均0.1mm程度であった。

## 4. まとめ

MHIで納入したCバンド、Sバンド加速管合計136台、Cバンド、SバンドSLED合計68台、Cバンド、Sバンド導波管合計952台はほぼ全数が理研/Spring8にて据付が完了しており、Cバンド加速器システムの内数ユニットは理研にてハイパワー試験を完了し、加速勾配40MV/mで安定に運転可能であることが確認されている。

## 参考文献

- [1] T. Shintake. "The Chork Mode Cavity", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 31 (1992) pp.L1567-L1570, Part2, No.11A, 1 Nov. 1992
- [2] 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 28<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, 2003.
- [3] S. Miura et al., "An Interim Report of C-Band Accelerating Structure Mass Production", Proceedings of the 6<sup>th</sup> Accelerator Conferences in Japan, 2009.
- [4] H. Matsumoto et al. "Fabrication of the C-band (5712MHz) Choke-Mode Type Damping Accelerating Structure", Proceedings of the 24<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, 1999.
- [5] S. Miura et al., "Manufacturing of the C-band Chork-Mode Type Accelerating Structure for SASE-FEL of RIKEN", Proceedings of the 3<sup>th</sup> Accelerator Conferences in Japan, 2006.
- [6] T. Sakurai et al, "HIGH POWER RF TEST ON THE C-BAND RF COMPONENTS OF 8 GEV ACCELERATOR FOR XFEL/Spring-8", PAC'09, 2009.

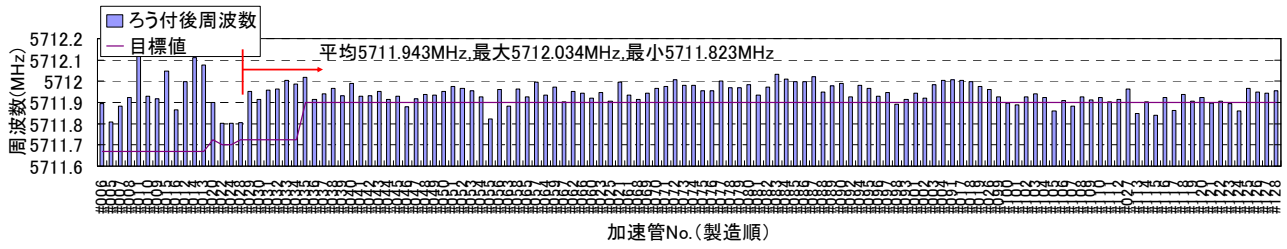


図6：Cバンド加速管ろう付け後周波数と目標値

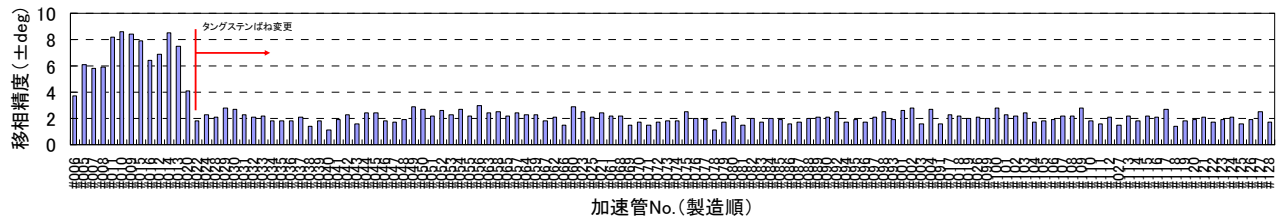


図7：Cバンド加速管累積移相精度

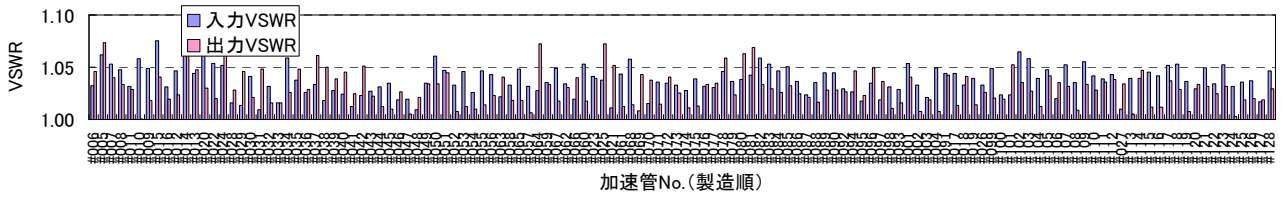


図8：Cバンド加速管入出力VSWR

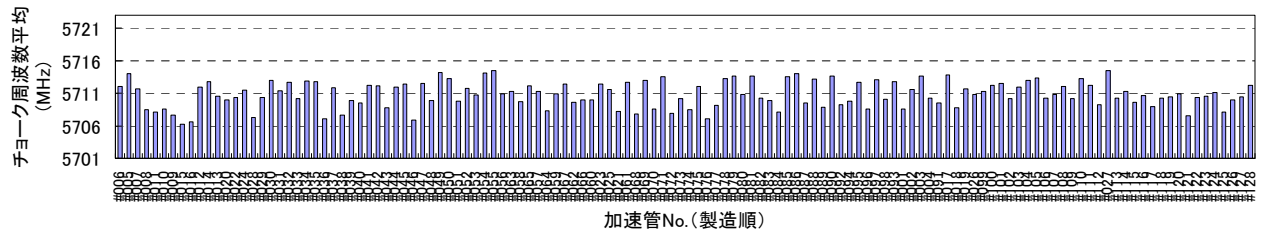


図9：Cバンド加速管チョーク周波数平均

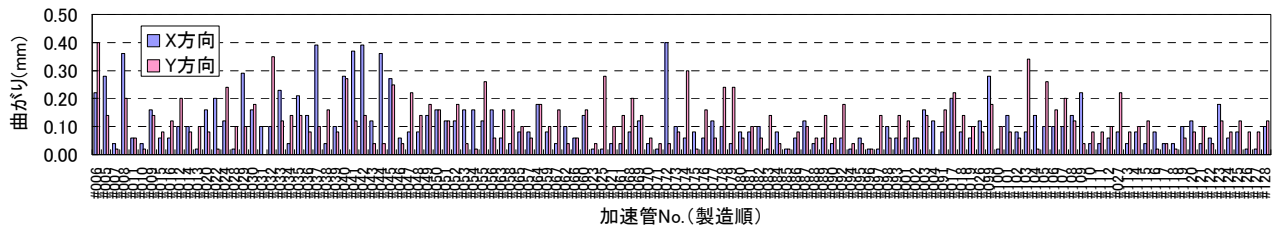


図10：Cバンド加速管曲がり