

MASS PRODUCTION OF C-BAND RF PULSE COMPRESSOR

Kazunori Okihira^{1,A)}, Fumiaki Inoue^{A)}, Sadao Miura^{B)}, Hirokazu Maesaka^{C)}, Takahiro Inagaki^{C)}, Tsumoru Shintake^{C)}

^{A)} MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

1-1, Wadamisaki-cho 1-chome, Hyogo-ku, Kobe, 652-8585 JAPAN

^{B)} MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

1-1, Itozaki Minami 1-chome, Mihara, Hiroshima, 729-0393 JAPAN

^{C)} RIKEN / SPring-8

1-1-1, Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5148 JAPAN

Abstract

C-band RF pulse compressor is a device that generates high peak RF-power by saving, and compressing the RF-power output from the klystron. XFEL project is scheduled to be installed 64 pulse compressor units, 2009 of August 49 units completed the fabrication and RF measurement. The pulse compressor is required for the high frequency stability, we improved the tuner structure for the frequency adjustment. As a result, the frequency became very stable, and high power test resulted of the test hall at RIKEN, the gain is obtained as designed. We will complete the production of The pulse compressor by the end of 2009.

C-Band RFパルスコンプレッサーの量産経過報告

1. はじめに

X線自由電子加速レーザー(XFEL)^[1,2]は、光の速度近くまで加速された電子を軌道変化させることにより生じる放射光をコヒーレント化したレーザーである。XFELでは電子の加速に主としてCバンド線形加速器^[3]を使用する。クライストロンの出力はC-Band RFパルスコンプレッサーで圧縮され、加速管に送られる。圧縮しない場合に比べて約2倍の加速勾配が得られる。今回はこのC-Band RFパルスコンプレッサー64台の量産経過と量産途中の改善点について報告する。

2. CバンドSLED基本構造

C-Band RFパルスコンプレッサー(パルス圧縮器)は共振空洞、モードコンバータ^[4]、3dB分配器で構成される(図1参照)。

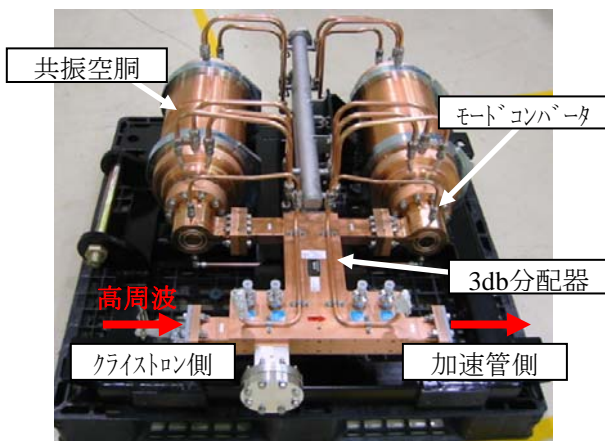


図1: パルス圧縮器

クライストロンから出力された高周波が3dB分配器で2つの共振空洞に向け半分(3dB)に分配される。モードコンバータでは伝送モードが□TE10から○TE01に変換され、共振空洞で高周波が蓄積、圧縮される。本パルス圧縮器の共振空洞のモードはTE_{0,1,15}で、共振周波数は5712MHz、無負荷Q値の理論値は、銅の場合約190,000である。共振空洞には共振周波数の為のチューニング機構を設けている。表1にパルス圧縮器の基本スペックを示す。スペックを満たすよう両空洞のチューニング機構で調整を行う。

表1: パルス圧縮器基本スペック

構成	共振空洞×2、モードコンバータ×2 集積型立体回路、支持架台
主要材質	無酸素銅 (OFC-CLASS1&2) SUS304, SS400
RFフランジ	A-DESYタイプ
共振周波数	5,712MHz (@30°C、真空)
共振モード	TE _{0,1,15}
Q値	≥180,000
カップリング係数	β=8
VSWR	≤1.10
RF運転条件	入力: 50MW、パルス幅: 2.5μs パルス繰返し: 60Hz
チューニング機構	精密差動ネジ駆動ダイヤフラム方式
集積型立体回路	3dB分配器: 結合度 3dB, 方向性 ≥25dB RFモニタ: 結合度60dB, 方向性 ≥25dB

¹ E-mail: kazunori_okihira@mhi.co.jp

3. チューナ

3.1 チューニング機構

クライストロンから出力された高周波を高いピークパワーに圧縮するためには、パルス圧縮器の無負荷Q値が十分高い必要がある。共振空洞には共振周波数の誤差を10kHz以下に収めることが要求される。空洞全長に対する共振周波数の感度は約10kHz/ μm であるため、機械加工のみで目標とする周波数に調整することは非常に困難である。そのため、空洞には周波数を調整するためのチューナを取付ける。チューナには1 μm の分解能が要求される。チューニング機構には差動ネジを用いている。

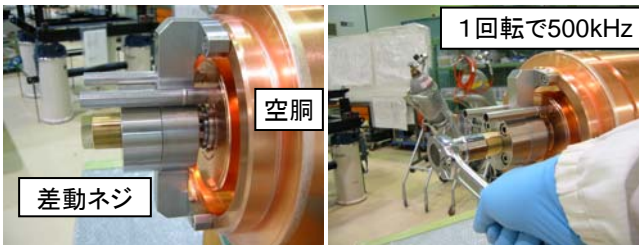


図2：チューニング機構

図3：チューナ調整

3.2 チューニング機構問題点

前述のチューニング機構にて、パルス圧縮器の共振周波数及び電圧定在波比(VSWR)を調整した。調整はパルス圧縮器物温を30°Cに保ち、内面真空状態で実施した。調整結果を図4に示す。周波数5711.999MHz、VSWR=1.01に調整したが、パルス圧縮器内面大気開放/再真空引きの操作やチューナへの軽い衝撃でVSWRが大きく変化した(図5参照:VSWR > 1.4、周波数 5711.984MHz)。本不具合はチューナ構造による物である。差動ネジの製作を個々に行い、その組合せはランダムとしているため隙間管理ができず、数十 μm のがたが生じている。

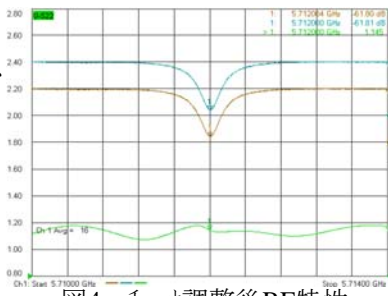


図4：チューナ調整後RF特性

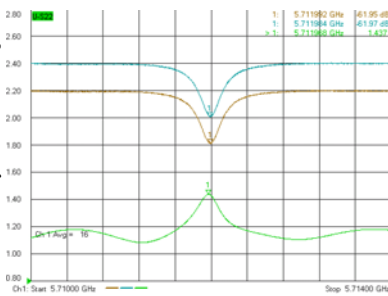


図5：RF特性の変化

3.3 チューナ改善

差動ネジ組合せ状態でガタが小さくなるよう、差動ネジ製作方案を見直した。これまで個々に製作していた差動ネジを相手方の寸法に合わせて加工するよう変更した。改善後の周波数調整結果を図6及び図7に示す。

周波数5712.006MHz VSWR : 1.03に調整後(図6)、パルス圧縮器内面大気開放/再真空引き操作やチューナへの軽い衝撃を加え、周波数及びVSWRを再計測した。結果を図7に示す。周波数、VSWR共に大きな変化は無く、良く安定している(周波数5712.000MHz, VSWR = 1.03)。チューナの改良により、パルス圧縮器の周波数及びVSWRの安定性を改善できた。

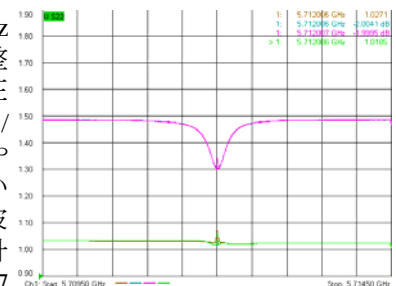


図6：改良チューナ調整後RF特性

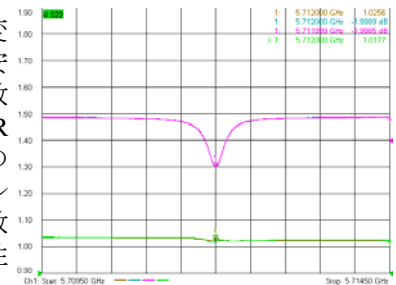


図7：改良チューナRF特性の変化

4. 量産

パルス圧縮器の製造工程について説明する。共振空洞は各 부품の機械加工及び一部部品の単体ろう付け後、全体ろう付け前に仮組み状態で低電力高周波試験を実施し、空洞共振周波数及び無負荷Q値を計測する。計測結果を受けて、空洞胴体の全長のチューニング加工を行う(5712MHz \pm 0.5MHz程度まで機械加工で調整し、精密調整はチューナで行う)。チューニング加工完了後、全体ろう付けを実施し、共振空洞が完成する。

共振空洞同様、モードコンバータ及び3dB分配器を加工/調整・ろう付けを実施し、パルス圧縮器全体組立を行う(図1)。チューナによるRF特性精密調整及び各種検査を実施し、パルス圧縮器が完成する。

パルス圧縮器の量産状況を図8に示す。現在パルス圧縮器は49/64台の組立・RF調整が完了している。



図8：パルス圧縮器量産状況

図9に製作完了したパルス圧縮器49台の無負荷Q値計測結果を示す。クライストロンから出力された高周波を高いピークパワーに圧縮する条件として、パルス圧縮器の無負荷Q値が十分高いことが挙げられる。計測したパルス圧縮器無負荷Q値は、全数180,000以上の十分高い値で良く安定している。

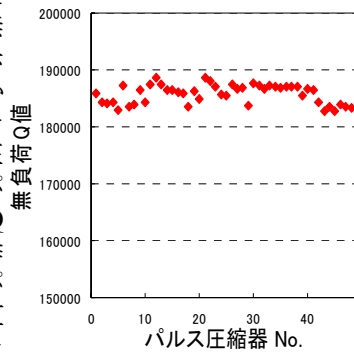


図9：無負荷Q値

5. パルス圧縮器応答特性

5.1 低電力試験

パルス圧縮器に低電力パルス波形を入力し、応答特性を確認した。本試験では、パルス圧縮器は実機据付時と同様に縦吊り状態(壁掛け)とし、3dB分配器上流側フランジから信号を入力し、下流側フランジからの出力をリアルタイムスペクトラライザーで計測した(図10参照)。

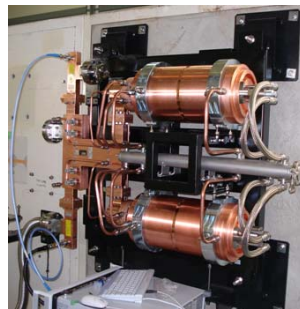


図10 パルス圧縮器壁掛け

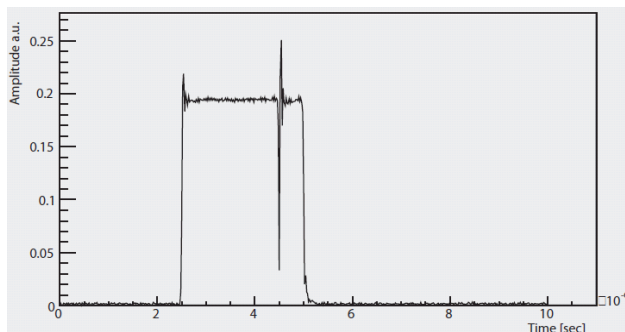


図11：パルス圧縮器入力信号

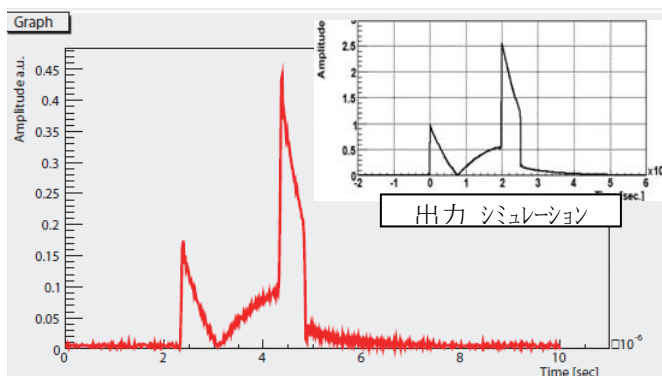


図12：パルス圧縮器応答特性

入力波形は $2.5 \mu s$ 幅の矩形パルス信号で(図11参照)、 $2.0 \mu s$ で位相が180度回転するものである。計測結果、図12に示すパルス圧縮器の出力波形が得られた。電圧増幅率は $2.0 \mu s$ 後のピーク値で約2.5倍、平均で約2倍となり、シミュレーションと概ね一致する出力結果が得られた。

5.2 ハイパワー試験

XFELテストスタンドにて、パルス圧縮器を含めたCバンド加速ユニットの高電圧試験を実施し、これまでに3ユニットの試験が完了した^[5]。クライストロンRF出力パワー48MWに対し、パルス圧縮器のRF出力パワーはピーク値で250MWに達している。また、パルス圧縮器ピーク出力から加速管の最大加速電圧を算出すると40MV/m以上に達し、設計パラメータ35MV/mを充分満足する結果となった。

6. まとめ

XFEL計画では計64台のパルス圧縮器を据付ける予定で、現在49台の製作・RF調整が完了している。量産中、RF特性が大きく変化する問題が発覚したため、チューニング機構を見直しチューナを交換した。その結果、RF特性は安定した。無負荷Q値も全数180,000以上で安定している。今後、2009年11月迄に64台製作完了させ、2010年3月までに据付完了する予定である。

参考文献

- [1] <http://www.riken.jp/XFEL/>
- [2] T. Shintake et al., "Status of SCSS X-FEL project at RIKEN/SPring-8", Proceedings of Particle Accelerator Society of Japan
- [3] S. Miura et al., "Mass Production of C-Band Accelerator System", Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan.
- [4] T. Shintake et al., "Development of C-band RF Pulse Compression System for e+e- Linear Collider", Proceedings of PAC97
- [5] 櫻井辰幸他 XFEL/SPring-8テストスタンドでのCバンド加速器システムの高電界RF試験 本学会