

# FABRICATION AND HIGH POWER TEST SETUP OF X-BAND QUADRANT STRUCTURE

Toshikazu Takatomi<sup>1,A)</sup>, Yuichi Watanabe<sup>A)</sup>, Norio Higashi<sup>A)</sup>, Kenji Ueno<sup>A)</sup>, Kazuhisa Kakihara<sup>A)</sup>  
 Kazue Yokoyama<sup>A)</sup>, Toshiyasu Higo<sup>A)</sup>, Zhang Jingru<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

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

<sup>B)</sup> Institute of High Energy Physics

19B YuquanLu, Shijingshan District, Beijing, 100049, P. R. China

## Abstract

KEK has developed a quadrant-type structure in collaboration with CERN. It is to be operated at a high gradient of 100MV/m class with a heavy HOM damping feature. It is divided into quadrants cut in the beam direction not only to enhance the HOM damping to realize the Q's down to 10 but also to have a potential to make the very fast mass production. We set the bending or twisting tolerance to be within 5 $\mu$ m for realizing their mutual assembly tolerance of 10 microns. The surface roughness was set to be Ra0.1. All over the surface was shaped by a ball-point milling. This paper summarizes the result of the dimensions of the independent quadrants and their assembly accuracy, the RF quality with tuning process, the vacuum characteristics, and the preparation for the high gradient test

## 四分割型加速管の製作と高電界運転セットアップ

### 1. はじめに

KEKでは100MV/m級の加速電界を狙う加速管として、Xバンド四分割型加速管の開発をおこなっている。この加速管は従来のディスクタイプの加速管と異なり、ウェーク場の抑制のためHOM（高次モード）のQ値を $\sim 10$ まで落とすため四分割構造となっている<sup>[7]</sup>。これはまた、量産に向けた構造である可能性を秘めている。

製作にあたっては、多軸ミリングマシンによるボールポイントエンドミル加工で、Ra0.1以下の表面性状、5 $\mu$ m以下の輪郭精度と寸法精度を $\pm 2.5\mu$ m以下に加工する加工方法、また加速管とするために4本の位相を10 $\mu$ m以下に組立てる技術、高真空特性の確保など、新たな技術開発が必要となった。

### 2. 四分割管の仕様

本加速管は四分割管4本で1組の加速管が構成される。空洞部は両端に入出力用のマッチング構造のセルとカップラーを有し、中央には18個のレギュラーセルにより構成されている。レギュラーセルはHOMのデチューニングのためセル毎に寸法が異なる。また、HOMの低Q値を実現するため、各セルに磁場結合型のスリットがつけられている。特に今回の設計でこれまでのCERNでの製作と異なるのは、本来RF電流を切らないはずの四分割面の全てのエッジ部に、50 $\mu$ mのRを付加していることである<sup>[5]</sup>。これは、これまでの高電界試験でこのエッジ部に何らかの放電に起因すると思われるただれが認められているため、エッジによる電磁界の増倍を抑制するためである。

空洞部については表面粗さをRa0.1以下とし、チューニング量を10MHz程度と見なし、セル周波数に関連した面の輪郭度を5 $\mu$ m以下とする。また、組立時の合わせ面となる基準面の平面度は、組立精度を10 $\mu$ m級を狙うため、フリーの状態でも5 $\mu$ m以下にする必要がある。長期間の使用における金属疲労を避ける為に、Zr添加無酸素銅（C150）を使用することで材料の機械強度を上げた。

組立てられた加速管は真空チェンバー内に設置され真空が確保される。

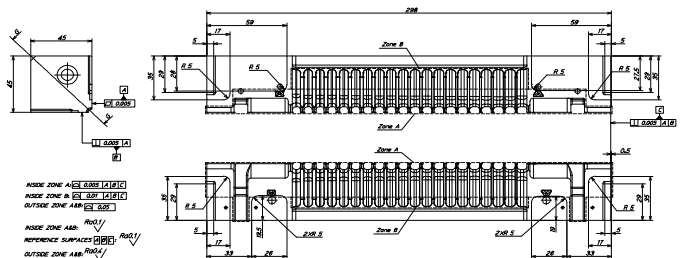


図1, 四分割管形状

### 3. 四分割管の製作

四分割管の製作は日本のメーカーとタイアップして進められた。まず、試作管により加工上の問題点を洗い出し、メーカーとの技術的議論と加工性を考慮した機械設計へのフィードバックをおこなうなどの技術開発をおこない実機を製作した。<sup>[2][3][8]</sup>

<sup>1</sup> E-mail: toshikazu.takatomi@kek.jp

### 3.1 ビーム軸方向の寸法精度

軸方向のディスクの位置精度は、組立て後の各加速セルを形成する時のずれに直接反映されるため、基準面からの寸法誤差を $5\mu\text{m}$ 以下とする必要がある。試作加工では空洞部の長さに対して設計値との差に最大で $20\mu\text{m}$ の寸法誤差が見られ、基準面Cから離れると大きくなる傾向が見られた。

これは、加工機の運動精度と加工環境の温度による影響が大きいと考えられる。加工機の精度チェック及び加工環境の温度計測をおこなった結果、加工機のピッチ誤差補正を正確に行うことと、加工時の温度情報をもとに加工寸法値に温度補正をかけることで、誤差量を $5\mu\text{m}$ 以下に抑えることが出来た。また、加速セル部の深さ方向の寸法については、基準面と同時に加工することで、公差内の $\pm 2.5\mu\text{m}$ 以下に加工できた。

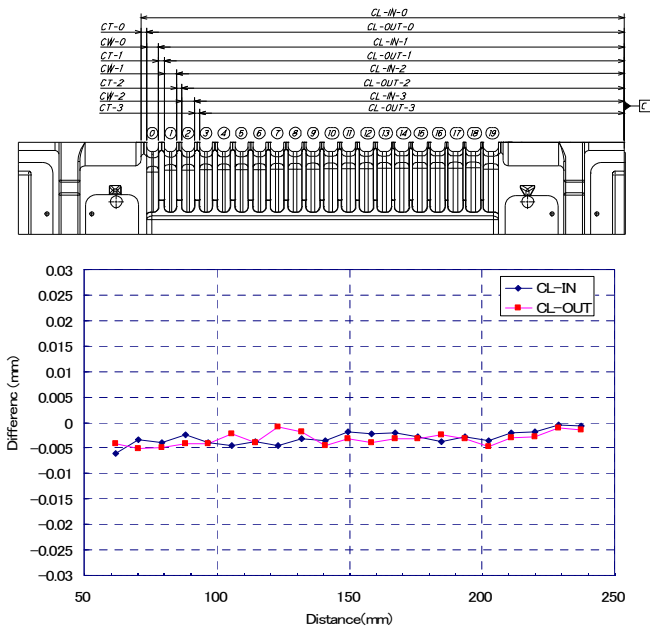


図2、実機 (Q1-0管) の軸方向寸法誤差

### 3.2 空洞部の形状精度

加速セル部の形状不良は周波数誤差や放電誘発の要員になるため、輪郭精度を $5\mu\text{m}$ 以下とし、キズ及び突起は不可である。試作加工ではディスク部の軸方向の形状に $10\mu\text{m}$ 程度の形状不良が見られた。これは加工時間が長くなることで、時間差による温度変化や工具磨耗が影響していると考えられる。

各々のポイントで加工時の温度を計測し、温度変化となる要因を排除し、加工時間内の温度変化を $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 以下でコントロールした。また、基準面側より順次加工をするなど加工方法の改善をおこなうことで輪郭度を公差内に抑えることができた。

横方向の形状精度についてはセル部及びアイリス部とも公差内に加工できている。

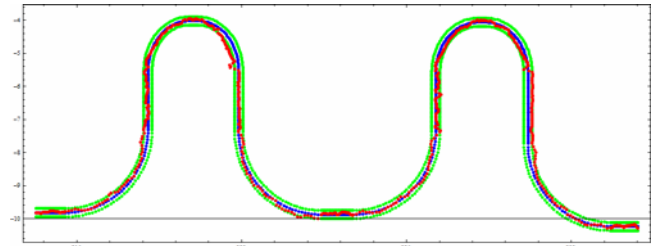


図3、実機 (Q1-0管) の軸方向形状誤差

### 3.3 組み立て

加速管の性能を維持するためには、4本の位置精度を $10\mu\text{m}$ 以下に組立てる必要がある。そのため、専用の組立てジグを製作し組立をおこなった。

当初は本体に設けられた位置決め溝と鋼球により位置決めをおこなったが、鋼球の食込み、座りの状態により $30\mu\text{m}$ 以上のズレが生じた。これらは修正ができないため、三次元測定器上で計測と調整をおこないながら位置決めする方式に変更した。これにより $10\mu\text{m}$ 以下の位置決め再現性を得ることができた。

### 3.5 周波数測定、チューニング

四分割管の姿勢を変えると自重 ( $4\text{kg}$ /本) が結構重いこともあり、ハンドリングの最中に軸方向に力がかかって、接合面がずれる可能性があるため、横置きのまま測定ができるシステムとした。

チューニング方法は、背面にあるチューニング穴に鋼球を入れ、背後からロッドをネジ込むことで、セルの壁を押し、内側に変形させ周波数を上方に調整する。

図4にチューニングの履歴を示す。縦軸は周波数に対応しており、黒点が最終チューニング後の結果を示している。両端の変化はマッチングの未調整と端部に生じる周期性によるものである。チューニングは主にNo. 10~17当たりのセルの周波数を上げた。

#### S\_imaginary as tuning process

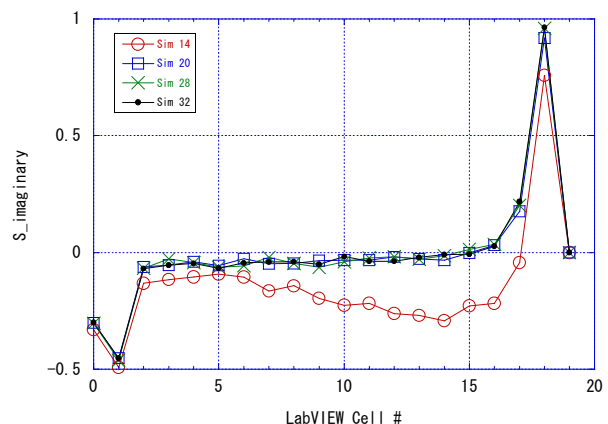


図4、チューニング履歴

図5にチューニング後のセルの電界強度に関連し

た量を示す。この値は、電界強度の二乗と測定時の減衰が絡んでいてこのままでは電界強度ではない。チューニングはこの値がスムーズになるように調整した。

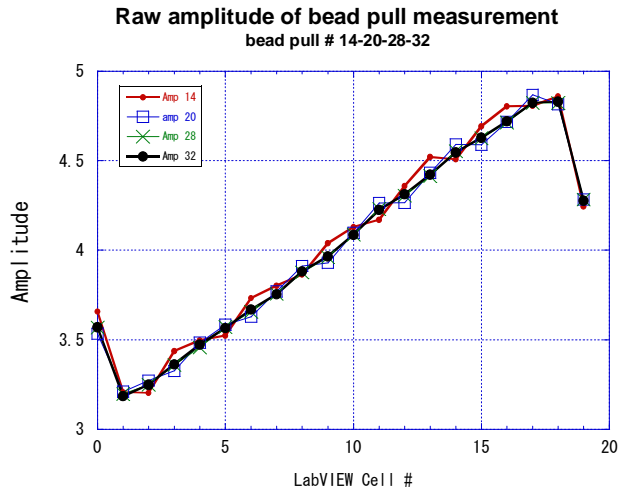


図5、チューニング後のセルの電界強度に関する量

### 3.5 真空チェンバー

今回は素材を高温処理しないで高電力を投入する。そこで、真空度の確保のために、チェンバーとそれを通じての加速管自身のベーキングを、 $\sim 200^{\circ}\text{C}$ で数日行った。インストール後は、チェンバーの直接排気を $50\text{ l/s}$ のイオンポンプで行い、これに加えて導波管WR90を通じて50cmから1m離れた場所にある $30\text{ l/s}$ のイオンポンプで排気している。ベーキング後にガスケットの癒着による開放修正加工行程を経る必要があったが、再度のベーキング後、現地インストール後の真空排気では、チェンバー内の真空度は $2\sim 3 \times 10^{-6}\text{ Pa}$ まで到達し、高電力を投入できる段階に達したと判断した。

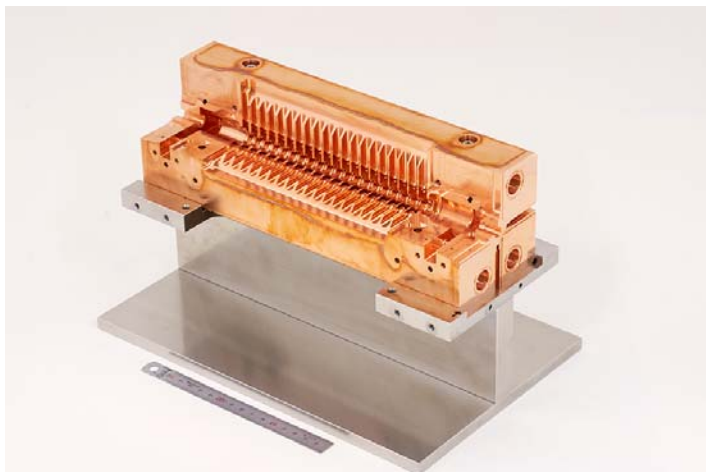


図6、四分割管写真（3本分）

## 4. まとめ

Xバンド4分割型加速管を製作した。モデルの試作から誤差要因を解明し対策を講じて精度の向上を実現した。また、最適な加工方法、加工条件を確立し、仕様を満足する加速管を製作することができた。加速セル部の寸法精度については試作時に問題となった軸方向の寸法誤差を改善し、誤差量を $\pm 2.5\ \mu\text{m}$ 以下にできた。また、形状誤差も改善され輪郭度を公差内の $5\ \mu\text{m}$ 以下に抑えることができた。また、四分割管を $10\ \mu\text{m}$ 以下の位置精度で組立てる方法やチューニングによる周波数調整方法も確立することができた。

## 5. 謝辞

四分割管の加工技術の確立において株式会社ユー・コーポレーションに多大なるご協力をいただき感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Chris Adolphsen, “Result from the CLIC X-Band Structure Test Program at NLCTA “, The 2009 Particle Accelerator Conference, Vancouver, BC, Canada, May 4-8, 2009
- [2] Toshiyasu Higo et al., “FABRICATION OF A QUADRANT-TYPE ACCELERATOR STRUCTURE FOR CLIC”, WEPP084, EPAC08, Edinburgh, UK, 2008.
- [3] Toshiyasu Higo et al., “Test cut studies for the fabrication of the CLIC damped structure, TD18\_VG2.4\_Quad”, Nextef-Technical-Note 2008-01, 2008.
- [4] Toshiyasu Higo. “RESEARCH OF X-BAND HIGH GRADIENT ACCELERATION”, Proceedings of the 5<sup>th</sup> annual meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 33<sup>rd</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan
- [5] Toshiyasu Higo. “Status of KEK production”, July 11, 2008 at SLAC
- [6] Toshiyasu Higo. “Information as of CLIC Structure Workshop at CERN in June 18-19”, The X-Band Accelerating Structure Design and Test-Program Workshop at CERN 2007, June 18-19.
- [7] 肥後寿泰. “Xバンド高電界加速技術開発の新展開”, 第9回高エネ研メカ・ワークショップ(Apr. 2008)
- [8] Tosikazu Takatomi, “Quadrant Fabrication Study” 2<sup>nd</sup> Collaboration Meeting on X-band Accelerator Structure Design and Test-Program 13-15 May 2008
- [9] Risto Nousiainen, “General engineering and integration issues concerning the design of accelerating structure” 2<sup>nd</sup> Collaboration Meeting on X-band Accelerator Structure Design and Test-Program 13-15 May 2008
- [10] 高富俊和. “Xバンド4分割管の製作”, 第10回高エネ研メカ・ワークショップ(Apr. 2008)