

## STUDY OF 100MV/M ON X-BAND ACCELERATOR STRUCTURE

Toshiyasu Higo<sup>1 A)</sup>, Mitsuo Akemoto<sup>A)</sup>, Steffen Doebert<sup>B)</sup>, Shigeki Fukuda<sup>A)</sup>, Mathias Geabaux<sup>B)</sup>,  
 Yasuo Higashi<sup>A)</sup>, Shuji Matsumoto<sup>A)</sup>, Sami Tantawi<sup>C)</sup>, Toshikazu Takatomi<sup>A)</sup>, Kenji Ueno<sup>A)</sup>,  
 Juwen Wang<sup>C)</sup>, Walter Wuensch<sup>B)</sup>, Kazue Yokoyama<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> KEK, High Energy Accelerator Research Organization  
 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

<sup>B)</sup> CERN, European Organization for Nuclear Research  
 CH 1211 Geneva 23, Switzerland

<sup>C)</sup> SLAC National Accelerator Laboratory  
 2575 Sand Hill Road, Menlo Park, CA 94025, USA

### Abstract

As one of the basic researches studying a technology for high gradient acceleration needed for a very high energy accelerator, we have done a high gradient test of a 20cm travelling-wave accelerator structure. The structure is a disk-loaded accelerator guide designed by CERN, fabricated at KEK and assembled by SLAC. Four structures were made in exactly the same framework. Recently one of them was tested at Nextef of KEK and another at NLCTA of SLAC. Both showed the feasibility of the stable operation at 100MV/m with 250nsec with a breakdown rate less than  $10^{-6}$  breakdown/pulse/m. In the present paper, we firstly describe the fabrication process, and then show the processing of the structure tested at KEK in detail.

## Xバンド 高電界加速管の100MV/m 試験

### 1. はじめに

2004年夏のITRP諮問までに、KEK/SLACの共同で開発してきたLC用の実機相当60cm長の加速管において、既にビームローディング無しで65MV/mの加速電界発生をかなり安定に実現できる目処をつけていた<sup>[1]</sup>。ITRPの諮問により常伝導技術に基づくXバンドを基礎にしたGLC開発は停止したが、KEKではそれまでの知的物的財産を受け継いで高電界加速の基礎研究を進めてきている<sup>[2]</sup>。2006年末には、それまで30GHz常伝導加速を基礎に開発を進めていたCLICが再最適化を行い、周波数は12GHz、加速勾配は100MV/mと設定した。これを受けKEKの高電界開発研究もこれと共同で行うことのメリットを鑑み、最近ではCLICベースの加速管での試験を遂行している<sup>[3]</sup>。

今回、KEKのXバンド高電界試験設備で、CLICを想定した加速管パラメータの一部を取り出した18セルの構造を11.4GHzにスケールして加速管を製作し、高電界試験を実施した。この試験研究は国際共同で進められており、相互比較可能な評価を目指している。本稿では、KEKで行われた加速管試験を総括する。

### 2. 加速管試験戦略

CLICでは、24セルの加速セルを有する構造をCLIC-Gと呼び、現在CLICの正規加速管としている<sup>[4]</sup>。この加速管は、HOMに関しては強減衰構造を採用し、

$4 \times 10^9$ /バンチを8RFサイクル毎に加速する設計である。本来この構造を直接評価すべきであるが、一世代前の設計 (CLIC-C) を元に上流の18セルを取り出した加速管の製作が完了し試験できる状態になったので、100MV/mを狙う出発点としてまず高電界試験を行うことにした。各加速管の相互パラメータ比

表1: GLC、CLIC及び今回の試験加速管

ACC structure	GLC	CLIC Nominal	CLIC test
Code name	H60VG4S17	CLIC-G	T18VG2.4 Disk
Freq (GHz)	11.4	12.0	11.4
Beam	Unloaded	Loaded	Unloaded
HOM damping	Medium Q~1000	Heavy Q~10	Undamped Q~7000
a/λ	0.18	0.11	0.13
# cell	55	24	18
a (mm)	5.24~ 3.98	3.31~ 2.47	4.06~ 2.66
v <sub>g</sub> /c (%)	4.5~0.8	1.7~0.8	2.6~1.0
P <sub>in</sub> (MW)	84	64	55
E <sub>acc</sub> (MV/m)	72~111	118~82	84~126
E <sub>p</sub> (MV/m)	151~219	225~160	157~222
E <sub>p</sub> /E <sub>acc</sub>	1.97~ 1.96	1.91	2.04~ 1.92
ΔT <sub>p</sub> (°C)	**	50~21	38~57*

<sup>1</sup> E-mail: toshiyasu.higo@kek.jp

較を表1に上げる。

この加速管でビーム無しで100MV/m級の運転ができれば、表面電場ではCLIC相当の値を実現できることになり、CLIC相当の加速管の100MV/m級の運転可能性の実証につながると考えている。

最近のSLACでの単セル試験では、加速セルの放電頻度を決めており無酸素銅での加速管の限界は、パルス内表面温度上昇かもしれないとの見解が出されている<sup>[5]</sup>。だとすると、強減衰のために大きな開口部を有するCLIC加速管では、このパルス内表面温度上昇が非常に重要なパラメータとなるので、開口部を持つ加速管の試験が次に重要となる。また、この温度上昇や表面電界を均一に近づけるよう設計したCLIC-Gに対応する加速管の試験が実機相当の評価試験として追って進めることにしている。

### 3. 加速管製作

#### 3.1 設計パラメータ

今回の試験加速管は、表1の右端のパラメータを有する、ダンピング構造無しの20cm長の加速管である。ビーム軸に沿ったパラメータの変化を図1に示す。Ep/Eaccはほぼ2.0であり、最大表面電界は下流の222MV/mである。

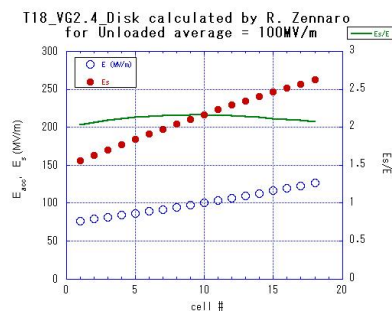


図1 T18VG2.4Disk加速管の

#### 3.2 製作工程

この試験研究は、CERN/SLAC/KEKの三者で開始したわけだが、これまでの確立してきた、現在我々のもつ、最良と考える製作工程をとるべきと判断した。そこで、セルの加工はKEKが製作し、セルの化学洗浄、水素炉での拡散接合とロウ付け、RFチューニング及び650°C1週間程度の真空ベーキングまでの工程をSLACが担当した。2台ずつペアで製作し、ペアを構成する一台ずつをSLACとKEKで試験することにした。

#### 3.3 輸送からインストールまで

加速管は完成後に、各ポートは開放状態で真空チャンバーに入れ650°Cのベーキングを行った後、取り出してフランジの封止を行い、窒素置換して空輸した。KEKでは、RF確認は行わず、直接Nextef<sup>[6]</sup>へインストールした。

## 4. 高電界試験結果

### 4.1 プロセッシング履歴

図3に4000時間におよぶ全運転履歴を示した。黒丸で示した総計2500回に及ぶのは上流、下流~50cmに備えたFaraday Cupのどちらかに電流のフラッシュが観測された場合を示した事象の回数である。全てのINTLKの積算回数である。これは、加速管で放電を生じた時にほぼ確実に出現しており、今回はこれを加速管での放電回数の概算として採用した。

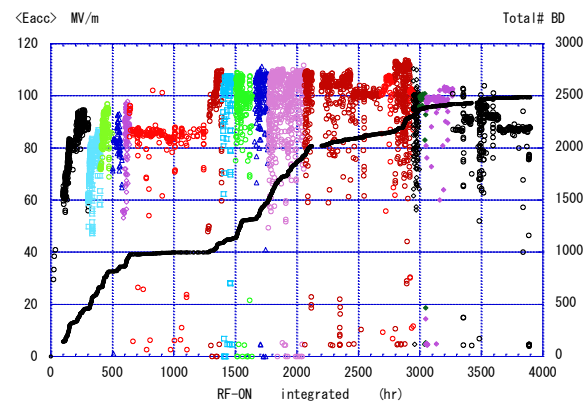


図2 プロセッシング全履歴

### 4.2 ダークカレント

全プロセッシング中、何度か暗電流の計測を行ってきた。下流に放出される暗電流の例をF-Nプロットの形式で図3に示した。これに示されているように、12/24 (RF-ON=1300時間) から2/25 (RF-ON=2200時間)にかけて減少が認められたが、それ以降の変化は殆ど無い。電界増倍係数 $\beta$ 値は計測を通じて35~40程度で変化しないことが分かった。これらの特性は、上流への暗電流も同じであった。更に、パルス幅を変えたときの暗電流の量は、ほぼ幅に比例して増大することが分かった。

#### Evolution of downstream dark Current

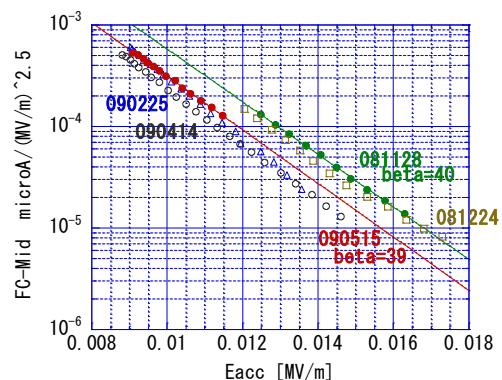


図3 下流への暗電流

下流への暗電流のスペクトルを計測した例を図4に示した。55MW入力で平均100MV/mであるの

で、最大加速暗電流電子でも加速管全体を通して加速された場合の半分程度のエネルギーしか得られていないことが分かる。また、低エネルギー電子が少ないことが分かる。この結果は最下流の3セルを除いたセルからの電界放出を仮定したシミュレーション<sup>[7]</sup>に合っている。

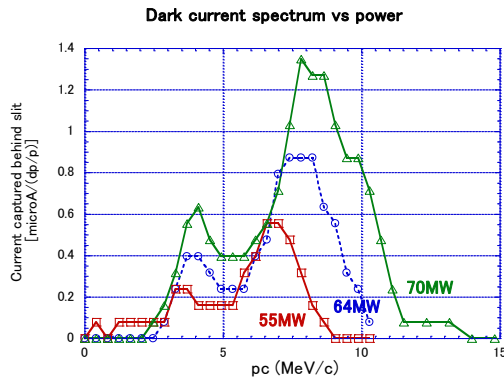


図4 暗電流の運動量スペクトル

### 4.3 放電頻度

実際の加速器に用いるときには、放電等でトリップする頻度の小さいことが要求される。実際、CLICでは $3 \times 10^{-7}$ /パルス/mが要求値である。

今回の加速管での放電の認証には、上流下流のファラデーカップへの電流フラッシュ、又は加速管前後のRFパルス波形の乱れで確認した。今回の加速管に関して何度か計測したデータを図5にまとめている。253nsで80MV/mのデータ点は、RF-ON=700時間から一ヶ月間キープした例である。この後更に電界を最高117MV/mまで上昇させた後に計測したのがその他のデータ点である。

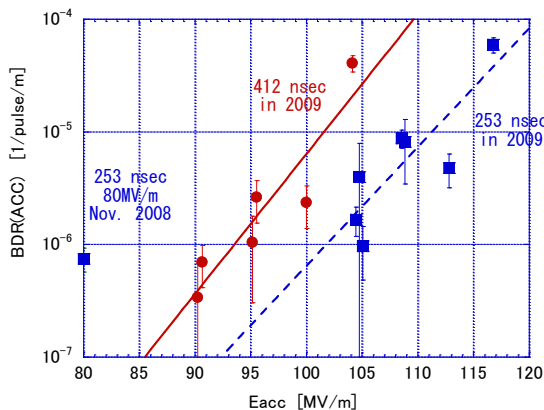


図5 放電頻度

仮にCLICの放電頻度スペックを基準とすると、253nsでは95MV/mが可能と思われる。400nsだと、88MV/m級が可能域になる。因みに、ペアで製作したもう一方の加速管に対する240nsでのSLAC試験結果<sup>[8,9]</sup>では、1200時間後の段階で105MV/m、加速管中央部での何らかの異常が発生した1400時間時点で97MV/mであり、KEKでの試験結果とほぼ同様の結果

を示しているといえる。

今後放電の認識の違いや、SLACで観測されているプロセッシング時間の経過とともに放電頻度が減少すること、またある時点からの頻度上昇などにつき、今後の加速管試験で評価していく必要があると考える。

## 5. サマリーと議論

CERN/SLAC/KEK三者で進めている加速管高電界試験としてKEKで進めてきた加速管試験の第一回目の試験結果を述べた。ペアで製作された一方の加速管のSLACでの試験結果とほぼ同じ放電頻度であることが分かった。

今後、四分割型加速管<sup>[10]</sup>の試験、強減衰構造の開口部を持つT18型加速管、CLIC-G相当の加速管試験等を進めていく。

## 謝辞

本試験研究は、KEKとCERN及びSLACとの共同研究のもとに進められています。この研究を正式に立ち上げて頂いた神谷幸秀氏（提携時のKEK加速器施設長）とJean-Pier Delahaye氏（CERN CLIC開発チームリーダー）に感謝致します。

## 参考文献

- [1] S. Doebert et al., "High Gradient Performance of NLC/GLC X-Band Accelerator Structures", PAC05, Knoxville, USA, 2005.
- [2] T. Higo et al., "Research of X-band High Gradient Acceleration", TP095, 5<sup>th</sup> Annual Meeting of Japanese Accelerator Society, Hiroshima, Aug. 2008.
- [3] T. Higo et al., "Status and perspective on research of X-band acceleration at KEK", WOOPF01, 6<sup>th</sup> Annual Meeting of Japanese Accelerator Society, Tokai, Aug. 2009.
- [4] <http://project-clic08-workshop.web.cern.ch/project-clic08-workshop/>
- [5] V. Dolgashev, presentation on pulse heating and breakdown rate, Talk at ICFA Mini-Workshop on Novel Concepts for Linear Accelerators and Colliders, SLAC, July 2009.
- [6] S. Matsumoto et al., "Nextef: 100MW X-Band Test Facility in KEK", EPAC08, Edinburgh, UK, 2008.
- [7] Z. Li et al., "Dark Current Simulation for THE CLIC T18 High Gradient Structure", WE5PFP046, PAC09, Vancouver, Canada, 2009.
- [8] C. Adolphsen et al., "Result from the CLIC X-Band Structure Test Program at NLCTA", PAC09, Vancouver, BC, Canada, May 4-8, 2009 and SLAC-PUB-13697, June 2009.
- [9] C. Adolphsen, "Performance Review of CLIC-Design Structures Tested at NLCTA", US High Gradient Collaboration Workshop, ANL, March 2009, <http://www.hep.anl.gov/ushighgradient/>
- [10] T. Takatomi, et al., "Fabrication and High Power Test Setup of X-Band Quadrant Structure", FPACA27, 6<sup>th</sup> Annual Meeting of Japanese Accelerator Society, Tokai, Aug. 2009.