

## RESEARCH OF X-BAND HIGH GRADIENT ACCELERATION

Toshiyasu Higo<sup>1</sup>, Shigeki Fukuda, Yasuo Higashi, Noboru Kudo, Shuji Matsumoto, Toshikazu Takatomi, Kenji Ueno,  
Yuichi Watanabe and Kazue Yokoyama  
KEK, High Energy Accelerator Research Organization  
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

### Abstract

KEK has been developing the X-band high gradient acceleration technology mainly for linear collider (LC) since early 1990. As of summer in 2004, the acceleration gradient of 65MV/m was established. Due to the ITRP recommendation of other technology choice for LC, KEK has since then devoted the effort to establishing the fabrication technology and the high gradient performance confirmation in Japan. After CLIC made a choice of 12GHz, X-band frequency, for its RF frequency in the end of 2006, KEK take the opportunity to collaborate with CLIC activity to boost the X-band high-gradient technology. The high power study facility, Nextef, is almost ready for testing the first structure serving as a part of the collaboration. In the present paper, the strategy for the high gradient study, the fabrication of the first structure and the status of the high gradient test facility are described.

## Xバンド高電界加速の研究

### 1. はじめに

これまでにリニアコライダーに向けた60cm級のXバンド加速管で、ビーム無しでは65MV/m級の加速電界発生が実証されていた。ここでは、多数のRFユニットで構成されるライナックのエネルギー安定性とそれに起因するルミノシティの維持に対する条件として、加速管起因の放電を100万パルスに一回程度に抑える条件を達成する加速管を多数製作試験することができていた。[1]

しかし2004年夏のITRP勧告で、国際協力を進めるリニアコライダーは1.3GHzの超電導技術を選択する諮問がなされた。そこでKEKでは、それまで展開してきたXバンド加速技術開発を、将来の高エネルギー加速器技術の一環として継続することとし、Xバンド技術の応用にも目を向けてきた。ここでは、これまで国際共同開発で進めてきた加速管製造と試験を、自前で進めることになった。[2]

ところが2006年末には、CERNのリニアコライダー計画であるCLIC(Compact Linear Collider)で、3TeV級の加速器に対する再最適化が行われ、加速周波数は30GHzから12GHzへ、加速電界は150MV/mから100MV/mに変更された。[3]

これを機会に、基礎研究を進めていたKEKとSLACは共にXバンド技術開発を、CERNも含めた体制でめることに大きなメリットを見いだした。KEKでは、Xバンド試験設備の移動、再立ち上げ[4]を行いつつあり、またCLIC仕様の試験加速管の製作[5]にも踏み出すこととした。また、加速管のみならず、基礎過程を検証評価するために、単純な構造の試験高電界セットを用いた研究も進めてきている。[6, 7]

今回の報告では、Nextefにおいて加速管の高電界試験に再度踏み込む第一号加速管の準備状況と、こ

の加速管が100MV/m級の加速への研究開発における位置づけを議論するとともに、試験セットアップ、特に放電現象が避けられないはずなので、その検知解析に関する方向性を議論する。

### 2. 試験加速管

#### 2.1 高電界加速管開発戦略

現在CLICで検討されている加速管は強減衰構造であり、四分割型[5]や磁場結合ダンピングポートのものであり、GLC時代に開発してきた軽減衰型とは、設計、製作上、かなり異なっている。我々は当面このCLICのパラメータに近い加速管をターゲットとして開発することにより研究を進めることにした。

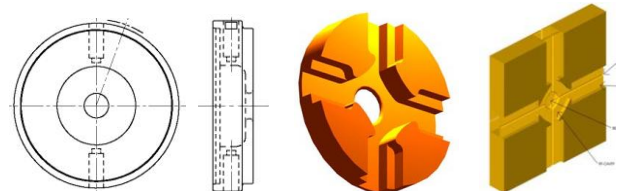


Fig. 1 Transition from disk-undamp to quad-type.

高電界発生に関して立脚すべき製作方法は、65MV/mを達成しているGLC時代に築いた加速管製作技術であり、加速モードに関するパラメータは2007年時点でのCLIC-C[8]仕様とする加速管、通称CLIC\_VG1、をまず評価することにした。こ

<sup>1</sup> E-mail: [toshiyasu.higo@kek.jp](mailto:toshiyasu.higo@kek.jp)

これはFig. 1では左端の形状であり、減衰構造無しであって、高電界加速管への第一歩である。

## 2.2 加速管の基本パラメータ

CLIC-Cパラメータ [8]の上流に近い構造で形成する18セル構造が今回の設計パラメータである [9]。主な仕様を下表 (Table 1) に掲げた。

Table 1

加速管種類	CLIC-C	CLIC_VG1
加速セル数	24	18
減衰構造	有	無
カップラー構造	-	モード変換型
ビーム孔半径 a(mm)	3.87~2.13	4.06~2.66
群速度/c (%)	2.39~0.65	2.6~1.0
充填時間 $T_f$	60	30 (36*)
ビーム有無	有	無
100MV/m時の パワー (MW)	64.6 (Loaded)	53.9 (Unloaded)
パワー減衰率		0.71
減衰定数 $\tau$		0.172
最高表面電界 (MV/m)	298	280
最高パルス温度 上昇(°C)	56	13

\* Time from flange to flange.

## 2.3 CLIC\_VG1加速管の製作

詳細電気設計はCERNが受け持ち、製作はGLC時代と同じく、機械設計と製作はKEK、洗浄、接合と真空ベーキング処理はSLACが担当した。完成した加速管をFig. 2に示す。

詳細工程：セル加工は、多結晶ダイヤモンドバイトの旋盤加工、洗浄は2~3 $\mu$ m級のエッチング、接合は1000°C以上の拡散接合と金ロウによるロウ付け、真空処理は650°Cのステンレスチャンバー内に1週間程度保持するベーキング処理を行った。

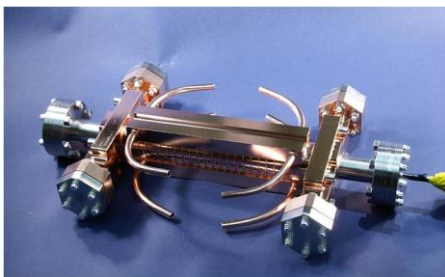


Fig. 2 CLIC\_VG1\_Disk #2 for KEK test.

## 2.4 低電力RF評価試験結果

製作したセルとカップラーは、KEKにて組立クランプしてRF特性を計測し確認した。(Fig. 3)

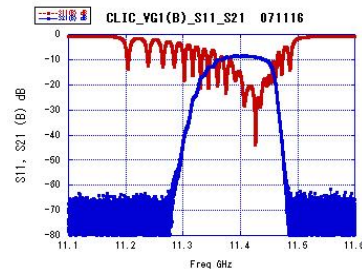


Fig. 3 Measurement of reflection and transmission property.

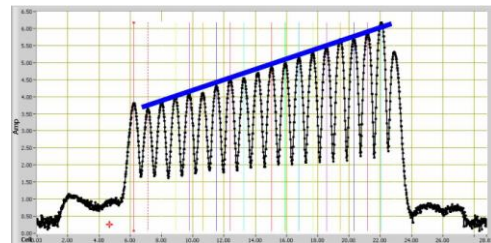


Fig. 4 Field measured after tuning.

接合の後、各セルの周波数をチューニングしてフィールドを整えた計測結果をFig. 4に示した。結果は設計とほぼ合致するが、全般にわたってQ値が8%程小さいことが判明した。これは、パワー減衰が、計算値(0.71)に対して計測値(0.64)に対応する [10]。これは、Fig. 5に典型例を示したように、セル端面が中に向かって0.5~1 $\mu$ m弱落ちこんでいることに関係したセル内部から見たギャップの可能性が関係しているかもしれないと考えているが、ローカルに大きなロスではないので、高電界特性に本質的な評価ができなくなるようなことにはつながらないと判断している。

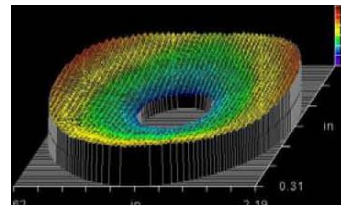


Fig. 5 Flatness of cell surface of CLIC\_VG1.

## 3. 高電界試験セットアップ

### 3.1 Nextef

CLIC\_VG1加速管を100MV/mで評価するためには、Table 1にあるように54MWあれば良い。超過試験を行うべきではあるので、なるべく高い電力を出せるようNextefではRF源と輸送系のプロセシ

ングを行ってきて、加速管へ75MW、250nsec級のRFを供給することができるに至っている。[4]

### 3.2 高電界特性評価方法

我々はこれまでもXバンド加速管の高電界試験を行ってきたが、殆どの場合先行するパルスでは何の予兆も観測されずに突然あるパルスで加速管内の放電が発生し、上流へは大きな反射波を、下流の透過波では欠けが観測される[11, 12]。Fig. 6 に典型例として放電パルスと直前パルスを示した。

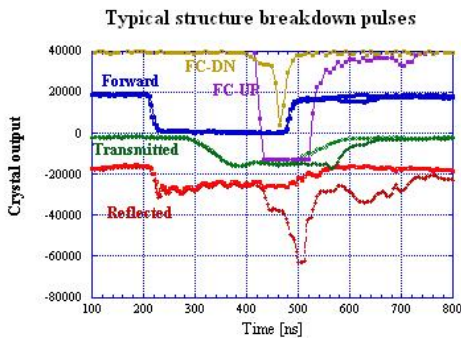


Fig. 6 Typical structure breakdown event.

Nextefでは放電の同定には、以下の4種類のオブザーバブルより検出するつもりである。

1. 加速管上流への反射波の増大
2. ビーム軸方向への電流のフラッシュ
3. 加速管下流への透過波の欠け
4. ミッシングエネルギー

1. はRFパルスのクリスタル検波のビデオ信号を用いるが、パワーで1%程度の小さい反射だと方向性結合器の方向性が有限であることによる進行波からのパワーの漏れに埋まって、反射波位相により感受性が低い難点がある。2. は多くの放電事象で観測されるので良い指標になると考えられるが、それ自身が今回検討確認をようすることの一つである。また、3、4項は、毎パルスを観測、解析するシステムをとる[13]ので、これから判断ができると考えている。但し現状ではこれからシステムを瞬時にコントロールすることができず、インターロックとしては作動させることは当面考えていない。

この他に、X線モニター、音響センサー、等を装着して総合的に放電をとらえることとする。また、RF源や輸送系に起因する波形の乱れに関しては、上流のRFパルス波形を計測記録することにより、オフラインで加速管起因の放電との判別を可能にするつもりである。

### 3.2 高電界基礎試験

Nextefでは、別の試験スタンドを使って、単純な構造での高電界試験も並行して進めている。この情報を合わせて高電界への研究を進めている。[6, 14]

## 4. 議論と今後の方針

計測手段として将来的には、反射波の位相を計測

し放電場所の同定精度を上げる必要があると考えている。また、ミッシングエネルギーを精度良く同定し、これを放電の検出に用いることも重要な検討課題であると認識している。

試験加速管としては、この後四分割管、ディスク型ではあるが、減衰構造をもち、そのためにパルス温度上昇の大きい加速管等の試験に進めるべく計画している。

## 5. 謝辞

本研究には、CERNの所長を始め、CLIC関連の方々や、SLACの常伝導加速器研究と関連パーツ製作の方々の大きな協力のもとに遂行されています。この紙上を借りて、感謝致します。特にCERNには、加速管製作と高電力試験設備の立ちあげに關しての資金サポートもいただいております、感謝致します。

## 参考文献

- [1] S. Doebert et al., "High Gradient Performance of NLC/GLC X-Band Accelerating Structures", PAC05, Knoxville, Tennessee, USA, 2005.
- [2] T. Higo et al., "常伝導リニアコライダー型加速管の高電界試験結果と今後の基礎試験展望", 第3回加速器学会年会&第31回リニアック技術研究会、仙台、2006.
- [3] H. H. Braun, "Toward a Multi-TeV Linear Collider Drive Beam Generation with CTF3", APAC07, Indore, India, 2007.
- [4] S. Matsumoto et al., 「100MW級Xバンド加速管試験施設Nextefについて」第5回加速器学会年会&第33回リニアック技術研究会、広島、2008.
- [5] T. Higo et al., "Fabrication of a Quadrant-type Accelerator Structure for CLIC", EPAC08, Genova, Italy, 2008.
- [6] K. Yokoyama et al., "High-Gradient Experiments with Narrow Waveguides", WEPP106, *ibid*.
- [7] V. Dolgashev, "Status of High Power Test of Normal Conducting Single-Cell Structures", MOPP083, *ibid*.
- [8] A. Grudiev, CLIC-C parameters, in X-Band Accelerator Structure Design and test Program Workshop, CERN, June, 2007, <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=15112>
- [9] R. Zennaro, CLIC\_VG1\_Parameters, CERN EDMS 889812.
- [10] J. Wang and R. Zennaro, Private communication, 2008.
- [11] T. Higo et al., "High Gradient Study on X-Band Accelerator Structure for Linear Collider", PAC05, Proceedings of Part. Accel. Conf., Knoxville, Tennessee, USA, 2005.
- [12] T. Higo et al., "Normal Conducting High-Gradient Studies at KEK", THP038, LINAC Conf. 2006, Knoxville, Tennessee, USA, 2006.
- [13] S. Ushimoto et al., "Control System for KEK X-Band RF Test Facility (Nextef)", 第4回加速器学会年会&第32回リニアック技術研究会、和光市、2007.
- [14] K. Yokoyama et al., 「狭導波管を用いた高電界放電特性」第5回加速器学会年会&第33回リニアック技術研究会、広島、2008.