

STATUS AND PERSPECTIVE OF X-BAND ACCELERATION RESEARCH AT KEK

Toshiyasu Higo¹, Mitsuo Akemoto, Shigeki Fukuda, Norio Higashi, Yasuo Higashi, Kazuhisa Kakihara, Noboru Kudo, Hiromitsu Nakajima, Shuji Matsumoto, Tetsuo Shidara, Toshikazu Takatomi, Kenji Ueno, Yuichi Watanabe, Kazue Yokoyama, Mitsuhiro Yoshida
KEK, High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

KEK has been developing an X-band RF technology aiming at a high-gradient acceleration applicable to such an accelerator as a lepton linear collider targeting beyond 1 TeV. To this end, KEK has developed a high power facility, Nextef, and we established a power production of 110MW with 400ns operated at 50Hz. This power was delivered to a 20cm TW accelerator structure at 75MW and the structure was tested up to a gradient of 117MV/m. The structure showed the stable operation at 100MV/m with the breakdown rate of 7×10^{-7} BD/pulse/m. We are planning to boost the available peak power to 150MW or higher by installing a travelling-wave-type single delay-line pulse compressor. The test structures were designed and made in collaboration among CERN, SLAC and KEK. Recently we made a quadrant-type accelerator structure and the high gradient test has just started at Nextef. Another basic high gradient study has been pursuing in a narrow waveguide condition. It revealed the better high field performance for the stainless steel surface compared to that of copper. In addition to these activities, we also plan to expand our facility to make basic studies easier and routinely. We present our X-band activities in the present status and near future plans with some perspective view.

KEKにおけるXバンド加速の研究現状と展望

1. はじめに

電子陽電子リニアコライダーの開発は、現在ILCとして超伝導技術に基づいて精力的に進められている。Nb空洞で50MV/m程度の加速勾配を実現できるとして、31.5MV/mを設計値にこれを歩留まりよく実現すべく研究開発が進められている。しかし、現状では実機9セル空洞では歩留まりが未だ低く大きな開発の余地がある^[1]。

一方、CERNでは近々LHCが稼働し始め、2~3年内にはその結果を踏まえて、リニアコライダーで実現すべきエネルギー領域が具体的に把握できる段階に入るであろうと考えている。

このような状況を踏まえKEKでは、2004年夏のITRP諮問の後も、1 TeVを超えるエネルギー領域に到達できる線形加速器を目指して、高電界試験研究を続けてきている^[2]。

ITRP以前のXバンドRF加速技術に基づいて開発研究するのが近道であると考え、それまでの高電力施設を元に新たに試験設備Nextefを整備した^[3,4]。Nextefでは、昨年には100MW級の高電力運転を確立し、その後の半年をかけて加速管の高電界試験遂行に必要なシステムを確立した。続いて昨年11月より、CERN/SLAC/KEK共同開発した20cm加速管の高電界試験を行った^[5]。これが、現在CLICをベースに考える加速管高電界試験への試験加速管群の第一歩であり、

同様の試験をSLACでも展開している^[6]。本稿では、これを含めKEKのXバンド高電界試験の状況を述べると共に、それに必要な加速管の製作^[7,8]について述べる。

また、今後更に高い電力での試験を可能にし、基礎的な研究環境も充実させるための展開を考えている。このために、進行波単一ディレイライン型パルス圧縮^[9]を開発する。また、試験エリアの拡充を考えている。これらに言及し、今後の展開に関する見解を述べる。

2. 高電力施設 Nextefの確立とKT-1

当初CLIC加速管での必要RF電力を想定して、Nextefでは、パルス幅250ns、ピーク電力65MW級を最低限のスペックとし、これを10%以上上回る電力を目標とした。2台のPPMクライストロンの出力合成により110MW級の高電力を得る。伝送ロスを考慮して~75MWを加速管に供給できる設備を確立した^[4]。PPMクライストロンは、長パルスになるに従ってパルス後半での不安定性から出力が抑えられているが、現在はパルス幅依存性を評価する場合などを想定し

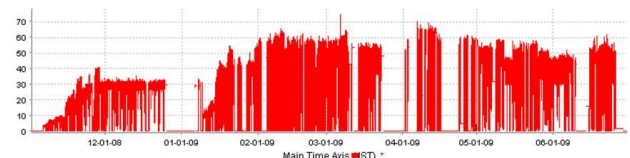


図1 Nextef 加速管試験時の数ヶ月の運転

¹ E-mail: toshiyasu.higo@kek.jp

している。図1に、数ヶ月にわたる連続試験でのパワーレベルプロットを示した^[10]。

一方、1台のクライストロンで行う50MWクラスまでの高電力試験は、Nextefに隣接するKT-1ステーションで行っている。現在まで、狭導波管試験^[11,12]を行ってきたが、今後各種コンポーネント試験を実施する計画である。

3. 試験加速管群

3.1 加速管試験戦略

ITRP時点では、60cm長のDDS型加速管で65MV/mでの運転実証を行ったが、今後更に高い加速勾配での可能性を追求すべく、100MV/m級までの研究を遂行している。そこまでなら銅をベースにした加速管でそこまで達成できるとの見込みを持って設定した値である。因みに、CLICでは、30cm長の強減衰型加速管で100MV/m級の加速勾配を設定している。

さて、安定運転を妨げる放電現象は、パルス内行面温度上昇で支配されているという考え方をサポートする実験結果^[13]があり、CLICでは、強減衰を実現する為に磁場結合型の取り出し口を開けるので、セル内の磁場強度が上昇し、パルス内温度上昇が大きくなるために、加速勾配の上昇に困難が生ずる可能性もある。

この、加速勾配上昇とHOM減衰口に対する影響を含めて評価すべく、減衰口の無い加速管での高電界特性を確認し、同じパラメータをもつ加速管で減衰口をもつものとの比較を行うよう、試験研究を進める。

3.2 試験加速管群：設計

基本電気設計はCERNが行っている。導波管から円形TM01導波管への変換を経てその先にマッチング用セルを介して加速セル群へとつながる構成をとって、カップラー近辺での放電を極力抑えた構造とした。加速セル部分はHOM周波数の分散と、パルス温度上昇をなるべく抑える設計としてある。

3.3 試験加速管群：製作

高電界を目指す本研究における加速管の製作は、我々の最良で最も信頼おけるGLC時代の製造工程を基本にまず進めるべきと考えた。そこで、加速管を輪切りにした各セルをKEKが加工し、これをSLACに送ってから、化学研磨の後に水素炉で拡散接合し、最後にロウ付けで組み立て、チューニングの後、650°Cのベーキングを行う、という工程をとった。完成後は窒素パージにてKEKに送り、そのままNextefにインストールする形で試験を開始する。同時にペアとして全く同様の工程を経た加速管を必ず製作し、一方はSLACでの試験に供する事にした。通常、CLIC相当の試験加速管はこの方針に従って製作することとした。

3.4 T18試験詳細

最初の加速管 (T18VG2.4_Disk #2) のプロセッシング試験は、2008年11月より開始した。繰り返し50Hzで進めたが、まずパルス幅52nsで80MV/m強までプロセッシングし、達成したら次のパルス幅113nsで同じパワーレベルまで達成させる。これを次々に173、213nsまで繰り返し、最後に252nsまで到達するのにRF ONの時間で700時間を要とした。また、この間~1000回の放電を経てきた。この時点で80MV/mに固定して1ヶ月の運転を行い、平均して放電頻度が 8×10^{-7} /パルス/mであることを計測した。

その後、120MV/m弱までプロセッシングを進め、最後に400nsまでパルス幅を広げた。パルス幅と加速電界の関数として、放電頻度を計測した結果を図2に示した^[5]。

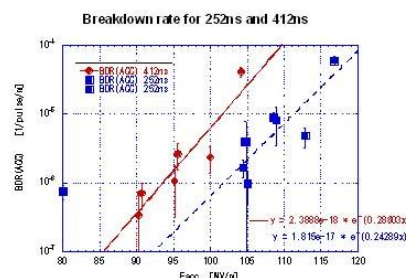


図2 T18VG2.4Disk #2 放電頻度

CLICの設計で仮定する放電頻度は、 3×10^{-7} BD/パルス/mであるが、90MV/mでは満たしていることが実証できた。ほぼ同等の試験結果はSLACでのペアの一方の加速管 (#1) 試験で得られている^[14]。

3.5 TD18詳細

強減衰ポートを開けた構造では、開口部の磁場強度の上昇によるパルス温度上昇に起因する放電頻度の上昇が危惧されるので、図3の写真に示されているような、前節の減衰構造無しのセルパラメータをもち、ポート開口部を有する構造の加速管を製作している。



図3 強減衰セル

これは現在SLACでの組立工程にあり、今後、前節の加速管に続く試験戦略上、最も重要な試験となる。

3.6 Quad詳細

現在KEKは、ディスク型で構成する加速管を最重要評価対象としているが、もともとCLICではビーム軸を含む面で四分割する構造の加速管を考えてきた。これは量産に向いている可能性があり、高電界に耐えることが実証されればその候補となる。KEKでは、3.5節で述べた強減衰加速管をこの分割方法で製作し^[7]、高電界試験を始めたところである。四分割の各セクションは、全面ボールポイントミリングで製作し、アラインメントを計測しながら組み立てた(図4)^[8]。今回の組立精度は $\pm 10 \mu\text{m}$ 程度である

が、四分割の切断面には全て50 μm のRをとってあるので、何らかの対称性の崩れから発生するこの切断面エッジでの高電界での悪影響は回避されることが期待されている。



図4 四分割加速管の組立

4. 更に高電力への展開と今後の展望

現在のNextefで可能なピーク電力は、クライストロン出力の2倍までで、加速管に供給できるのは75MW程度が限度である。100MV/mより十分オーバースペックの加速勾配での試験や複数台の加速管の同時試験などを、今後計画しているが、現在のクライストロンのままこれを可能にするために、パルス圧縮を計画している^[9]。図5にその配置図を示したが、2台のクライストロンから赤に沿ったラインで、進行波単一ディレイラインを駆動し、1.5 μs パルスを0.3 μs まで圧縮してパワーを3倍以上増幅する。これを図中の青線に沿ってシールドに導く。2010年に展開する予定である。

また、同図に示した2ヶ所のシールド室の残る一方を、クライストロンパルスのパルス圧縮に用いた残りを振り分けることで、又は左上に稼働しているKT-1クライストロンからフィードすることで、多少低いパワーで進めることのできる基礎試験を同時に進めることを検討している。

これらを駆使して2~3年内には、50~100MV/mでの銅製加速管での安定加速を実現できるレベルを



図5 Nextefパルス圧縮を導入したNextef

評価する。これと同時に、安定性を支配する放電のメカニズムの解明と放電の抑制方法に関する研究を進めたいと考えている。

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。また、研究各エリアにおいて日米協力事業の賛助を得て進められており、高崎史彦（KEK理事）とSami Tantawi氏（SLAC加速器R&Dヘッド）の両氏に感謝致します。

参考文献

- [1] ILC Reference Design Report, <http://www.linearcollider.org/cms/?pid=1000437>
- [2] T. Higo et al., "Research of X-band High Gradient Acceleration", TP095, 5th Annual Meeting of Japanese Accelerator Society, Hiroshima, Aug. 2008.
- [3] S. Matsumoto et al., "100MW-class X-band accelerator structure test facility, Nextef", 5th Annual Meeting of Japanese Accelerator Society, Hiroshima, Aug. 2008.
- [4] S. Matsumoto et al., "Nextef: 100MW X-Band Test Facility in KEK", EPAC08, Edinburgh, UK, 2008.
- [5] T. Higo et al., "Study of 100MV/m on X-Band accelerator structure", FPACA24, 6th Annual Meeting of Japanese Accelerator Society, Tokai, Aug. 2009.
- [6] 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.
- [7] T. Higo et al., "Fabrication of a Quadrant-type Accelerator Structure for CLIC", WEPP084, EPAC08, Edinburgh, UK, 2008.
- [8] T. Takatomi, et al., "Fabrication and High Power Test Setup of X-Band Quadrant Structure", FPACA27, 6th Annual Meeting of Japanese Accelerator Society, Tokai, Aug. 2009.
- [9] M. Yoshida, presentation at X-band review at KEK, July 2009, <http://kds.kek.jp/conferenceDisplay.py?confId=3532>
- [10] S. Matsumoto et al., "Performance of X-Band high power source at KEK", FPACA25, 6th Annual Meeting of Japanese Accelerator Society, Tokai, Aug. 2009.
- [11] K. Yokoyama et al., "High-gradient RF Breakdown Studies with Narrow Waveguide", TU5PF028, PAC09, Vancouver, BC, Canada, May 4-8, 2009.
- [12] S. Matsumoto et al., "Study of RF breakdowns in X-Band high field waveguide", FPACA26, 6th Annual Meeting of Japanese Accelerator Society, Tokai, Aug. 2009.
- [13] 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, <http://www-conf.slac.stanford.edu/RobertSiemann/>
- [14] 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/>