

HIGH FIELD STUDY ON ACCELERATOR STRUCTURES FOR NORMAL CONDUCTING LINEAR COLLIDER AND FUTURE BASIC STUDIES

Toshiyasu Higo¹, Mitsuo Akemoto, Shigeki Fukuda, Yasuo Higashi, Noboru Kudo, Shuji Matsumoto, Koji Takata, Toshikazu Takatomi, Kenji Ueno, Kazue Yokoyama and Mitsuhiro Yoshida
KEK, High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

The last three accelerating structures developed for the X-band linear collider are soon finishing the high power evaluation. These structures are KX01, KX02 and KX03 with cell types of detuned one and damped detuned one. The very last one is a 60cm-long structure fully equipped with such as HOM extraction ports. Through a series of high power tests on these structures, the operation at 50MV/m was found very stable. The breakdown rate at 60MV/m in KX01 reached about 1BD/2MPulses, the X-band LC specification. The less breakdown rate is foreseen in the KX03 through moderate processing for about 300 hours. For the future, basic studies toward reaching such high field of 150MV/m as CLIC is planned.

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

1. はじめに

XバンドRF加速でのリニアコライダー用に開発してきた加速管群^[1]のKEKでの最終3台に対して程なく高電界試験を完了する。一連の高電界試験を通して、50MV/m程度の運転であれば放電は殆ど発生しないことが分かった。また、リニアコライダーの目標としていた65MV/mでも放電頻度は2Mパルスあたり1回以下という当初の目標をほぼ達成した。今後は、現在の超伝導空洞ベースのリニアコライダー(ILC)^[2]より高いエネルギーの加速器が必要とされた場合を想定してCLIC^[3]等のような150MV/m程度の高電界加速を実現するための基礎試験を展開していく予定である。本稿では、この加速管群の試験結果と今後の基礎試験への取りかかり状況を報告する。

2. 3台の最終加速管

3台の加速管群は全てHOMに対する周波数の離散化を行っている60cmの加速管であり、KEKの標準の製作方法^[4]をとっている。構造上、KX01：超



Fig. 1 KX01 in low power checking.

精密旋盤加工、KX02：超精密旋盤加工+精密フライス加工、KX03：前者と同じ加工方法だが、HOM取り出し機構付き、で表される特徴を持っている。KX03は、1A級のマルチバンチ低エミッタンスビームの高電界加速に適したものであり、XバンドLCでの最終設計の加速管である。Fig. 2 に加速管内部のフィールド典型例を掲げた。最大10%程度のリップルはあるが、高電界発生試験上問題はないと判断して進めた。

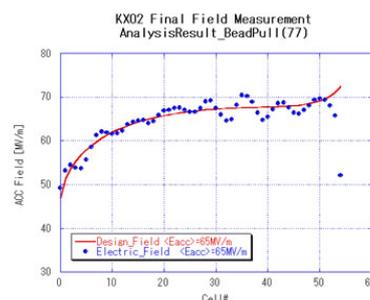


Fig. 2 Field in KX02.

3. プロセッシング

3.1 パワーの時間経過

Fig. 3にKX03加速管のプロセッシング履歴を示した。慎重にプロセッシングを進めたため、先行する2台の加速管に比べて立ち上がりの時間を多くかけた。そのためか、Fig. 3に示すパルス内の表面温度上昇を表す電力×(パルス幅)^{1/2}のプロセッシング時間依存性を見ると、プロセッシング段階で幅を広げた直後は、

¹ E-mail: toshiyasu.higo@kek.jp

かなり早いパワーの上昇が得られた。KX02ではこの逆の現象が観察された。但し、3台の加速管どれをとっても100~200時間後の到達点はほぼ同じであった。

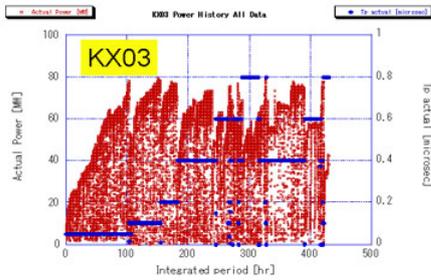


Fig. 3 Processing history of KX03.

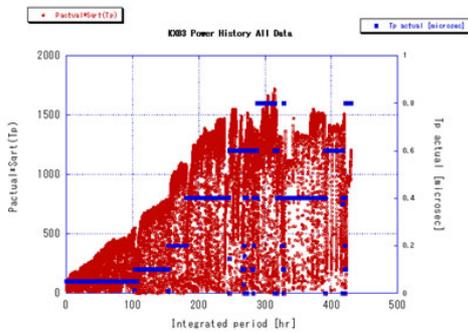


Fig. 4 KX03 Power x Sqrt(Tp).

3.2 暗電流、FN、スペクトル

プロセッシングの各段階で暗電流の計測を行っている。Fig. 4に示したように、プロセッシングに従って減少電流値は減少していくのが常であった。また、暗電流の電界放出特性を調べるために、FNプロットを行った例をFig. 6に示した。これは下流側に放出されたものであるが、電界増倍係数 β は数十を示し、これまでの多くの例とほぼ同じ程度である。

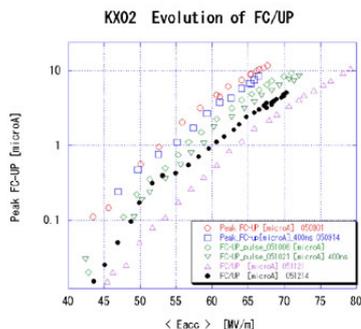


Fig. 5 Dark current evolution as processing proceeded.

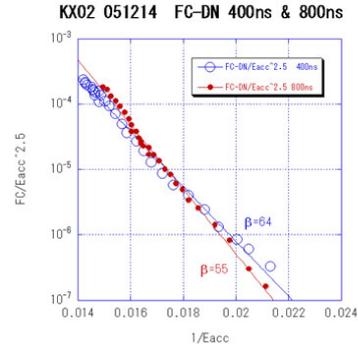


Fig. 6 Modified Fowler-Norheim plot.

Fig. 7 に下流へ加速される暗電流のエネルギースペクトルを示した。ピークパワーを上げたり、パルス幅を延ばすと低エネルギー側の増大が顕著である。また、最高エネルギー (~40MeV/c) まで加速される暗電流は少ないことが分かった。

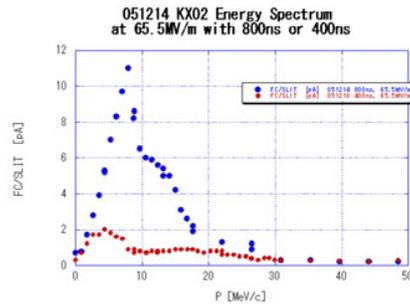


Fig. 7 Momentum spectrum of dark current.

3.3 放電頻度

LCのための重要な特性評価の一つに放電頻度がある。これは大多数の加速管を使用するライナックで、放電が生じた加速管群を次のパルスより運転からはずし再立ち上げ完了までの期間他のスベアでカバーして最終エネルギーの保持するために必要な放電頻度限界である。仕様は2メガパルスに1回であった。

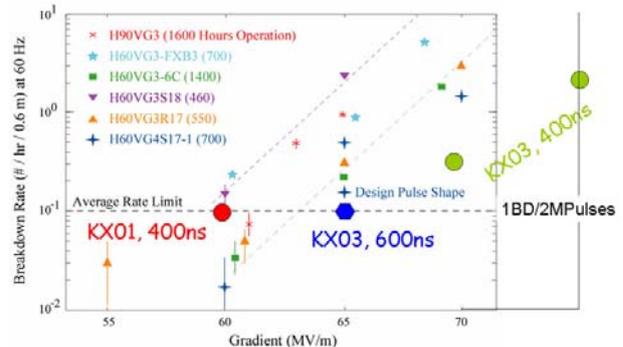


Fig. 8 Breakdown rates of LC structures. Large solid circles are those of present structures, while the others are from NLCTA results.

結果をFig. 8 に示した。大きい丸は今回の加速管であり、その他はSLACのNLCTAでの試験結果^[5]である。LCスペック：65MV/m, 400ns, 0.1BD/hr は達成されていることが分かる。但し、KX03の特性が良く見えるが、これはKX01, KC02に比べてKX03では慎重に(ゆっくりと)プロセッシングを進行させたことに関係しているかもしれないので、詳細なデータ解析比較を現在進めている。

このように、LC型加速管は最終的にLCスペックを満たすところまで到達したが、10年間程度の長期運転に耐えるためには多少残っている放電などによって加速管の表面が浸食され続けまいかという問題をクリアする必要がある。これに関しては長期の過負荷運転試験が必要であり、この試験を完了することは時間的にできずにLC加速管の高電界試験は終了することとした。しかし、50MV/m 程度の運転では、現実的には全く放電は発生せず、おそらくその程度までの運転を基礎にした応用には充分使用することができることが実証されたことは、LC開発から得られた重要な知見である。

4. 導波管試験へ

加速器として実用的な更に高い電界での運転を開くため、放電しても破壊に至らないおそらく高融点金属^[6]を用いた加速管の試験を遂行している。これに関連して、KEKでもSLACとの共同研究としてMoを用いたセルを製作し、SLACでの試験^[7]を待っている。CERNではCLIC計画の重要開発項目として進めている^[2]。

KEKでも現在のXTF設備を縮小はされるが継続できるよう模索している。そこでは、Fig. 9 のように単純な導波管断面積を縮小した高電界試験を行うまじ実施する計画である。

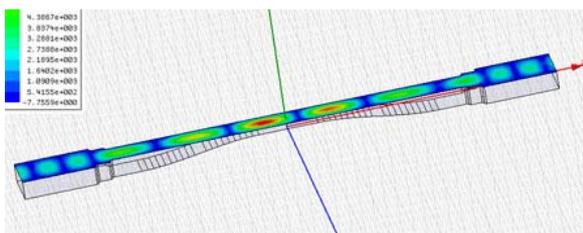


Fig. 9 Narrow waveguide design and field pattern.

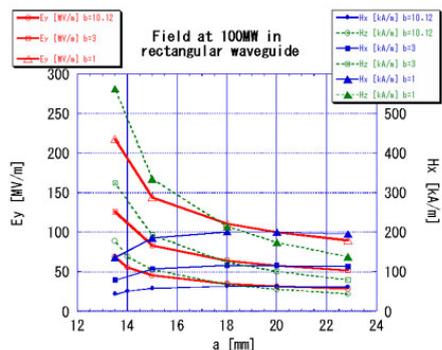


Fig. 10 Field in narrow rectangular wave guide.

幅を14mm、高さを1mmまで減少させ、現在XTFで十分に得られる80MWでも180MV/m程度までの試験が可能 (Fig. 10) であり、無酸素銅から始め他の物質の特性を調べる予定である。

また、現在SLACと共同で材料探しを始めている中で、Moのサンプル試験例をFig. 11 に示した。これは、電子ビーム溶接機をパルス運転して各種の金属表面を破壊させ、その条件と表面破壊状況を調べるものである^[7]。Cuの他に、Mo、Ta、W、等、現在SLACでSEMを用いて詳細解析を行っている。



Fig. 11 Mo surface shot by EBW at KEK.

5. サマリーと今後の方向

XバンドLCを目指して開発してきた加速管は放電頻度では65MV/mでのLCスペック (10時間に1放電, 1BD/2MPulses 以下) を満足するところまでこぎつけた。また50MV/m程度であれば事実上全く放電のない運転ができることがわかり、応用への道も開けた。今後はこれまで開発してきたRF源やXTFの財産を活用して、更に高い電界の実用化に向けて材料、表面、加速などの基礎研究から開発を行っていく。同時に、医療等への小型化を念頭に置いた応用に向けて既にLCで培ってきた技術を展開させつつある。

参考文献

- [1] J. Wang and T. Higo, ICFA Beam Dynamics News Letter No.32, 2003.
- [2] ILC Web site, <http://www.linearcollider.org/cms/>.
- [3] H. Broun et al., CLIC Note 627, 2006.
- [4] International Study Group Progress Report, KEK Report 2000-7, SLAC R-559, April, 2000.
- [5] S. Doebert; ISG-XI, <http://xband.kek.jp/ISG/ISG11/>, KEK, 2003.
- [6] P. Wilson, SLAC-TN-06-003, 2006.
- [7] V. Dolgashev et al., Workshop on Advanced Accelerator Concept, USA, 2006.