

Sバンド電子リニアック加速管の高電界試験

五十嵐康仁^{1,A)}、山口誠哉^{B)}、榎本収志^{B)}、大越隆夫^{B)}、柿原和久^{B)}、大沢哲^{B)}、東保男^{B)}

^{A)} 総合研究大学院大学 加速器科学専攻

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

^{B)} 高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

概要

今後の KEKB 加速エネルギー増強や将来の電子・陽電子リニアコライダー計画に於いて、安定した高加速電界を達成する加速管の開発が必要とされている。現在、KEKB 入射器の運転加速電界強度は約 25MV/m であるが、KEKB 入射器増強計画では約 40MV/m が要求されている。加速電界が制限される主な理由は加速管内での RF 放電である為、その特性を調べ、安定に運転する加速電界の制限を改善することが不可欠である。その為、本研究では以下のことを行っている。

- (1) KEKB 入射器用に製造した S バンド 2m 加速管を用いて大電力試験を行い、加速管の耐圧や高加速電界運転時に電界放出で発生する暗電流の測定等により、一般的な使用環境での放電現象を調べる。
- (2) 加速管に対して超純水高圧洗浄を行い、加速電界強度の増加を目指す。

1. 加速管の高電界試験

1.1 S バンド 2m 加速管

今回試験に使用した加速管の概略図を図 1、主なパラメータを表 1 に示す。この加速管の特徴は要約すると以下の通りである。

- (1) ダイヤモンドバイトを用いて、ディスクとスペーサを加工する。
- (2) 電鍍法を用いて製作する。電鍍法の特徴は、a) 加工後に常温以上の熱(約 30)を加えずに空洞を一体化する事、b) 周波数調整のための変形を空洞に与えない事。

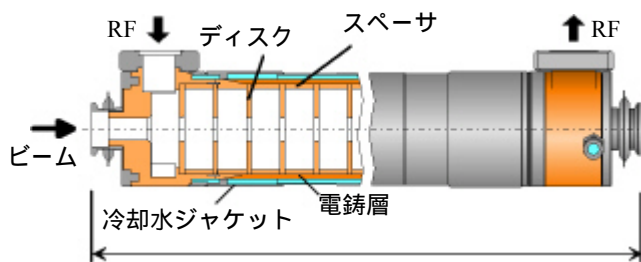


図 1: KEKB 入射器用加速管断面図

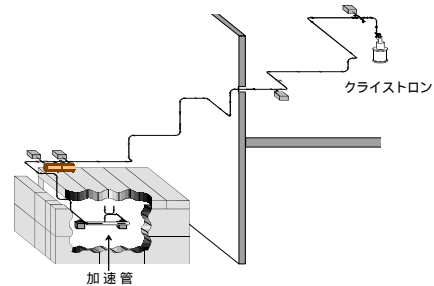
表 1: KEKB 入射器用加速管パラメータ

Frequency	2856	MHz
Phase shift per cell	$2\pi/3$	
Electric field distribution	Quasi-constant gradient	
Structure length	1889	mm
Number of cell	54	
Iris diameter $2a$	23.75 – 19.70	mm
Average shunt impedance	58.3	MΩ/m
Filling time	0.566	μsec
Average group velocity v_g/c	0.0113	

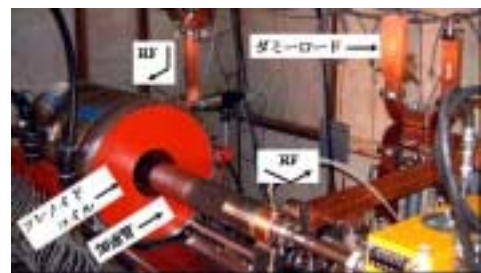
- (3) カプラー空洞の電磁場分布の非対称性を補正するために、アイリスと対向する位置に三日月型の窪みが設けられている。

1.2 高電界試験装置

試験は図 2 の様なエージングスタンドを構築して行った。クライストロンは最大出力 45MW、パルス幅 4μsec、繰り返し 50pps である。RF パルス圧縮器 SLED を作動させることにより、ピーク電力を約 3.6 倍に増幅することが出来る。クライストロンから加速管入り口までの導波管長は約 32m で、加速管に入力される RF 電力はクライストロン出力の約 84% である。



(a) 概略図



(b) シールドブロック内部の写真

図 2: エージングスタンド

¹ E-mail: igarashi@almond.kek.jp

1.3 高電界試験及び結果

試験は RF パルスの繰り返しを 50pps に固定し、徐々に RF 電力を上げていった。試験中は常にクライストロンへの RF 反射量と加速管等の真空圧力を計測しインターロックに用いた。加速管の圧力は約 1×10^{-6} Pa であった。

まず SLED を用いずに試験を行い、約 1.5×10^7 ショット (約 54 時間) 後に最大平均加速電界強度が 20MV/m に達した。しかし、クライストロンへの反射波によって真空が悪化するため一度試験を中断し、クライストロン出口にイオンポンプを 1 台追加して真空の強化を行った。その後、試験を再開して約 4.7×10^7 ショット追加 (延べ 6.2×10^7 ショット (約 314 時間)) 後に最大平均加速電界強度が 23MV/m に達した。次に、SLED を用いて試験を行い、更に約 4.1×10^7 ショット追加 (延べ 1.0×10^8 ショット (約 542 時間)) 後に最大平均加速電界強度 40MV/m に達した (図 3)。RF コンディショニングを継続すれば更に加速電界強度の増加が期待されたが、時間的制約により試験を終了した。

電界放出電流による暗電流の測定は加速管の上流、下流にファラデーカップを設置して行った。Fowler-Nordheim プロット (図 4) を用いて求めた電界増倍係数 β の時間経過を図 5 に示す。 β の最終的な値 ($E=40\text{MV/m}$) は、加速管上流側 $\beta=52$ 、下流側 $\beta=53$ であった。過去に行われた大電力試験^[1] (加速管タイプ: 平均 $v_g/c=0.0137$, $2a=24.95 \sim 20.90\text{mm}$) では $\beta=70$ (下流側) であったことから今回は β の値が小さくなっている。また、JLC グループが行った ATF 用 S-バンド 3m 加速管の大電力試験^[2] で β 約 70 という報告がある。

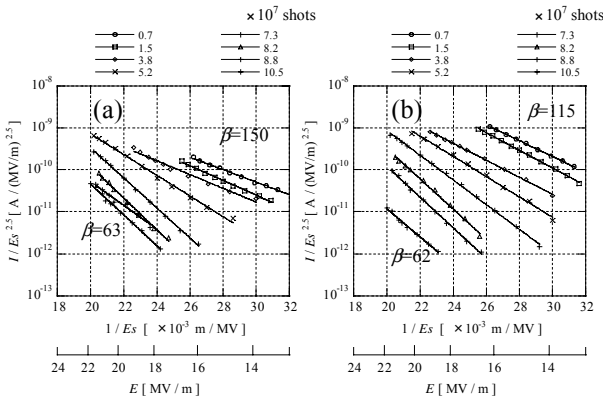
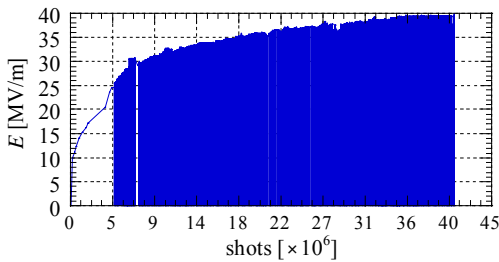


図 4: F.N.プロット - SLED 離調
(a) 上流側, (b) 下流側

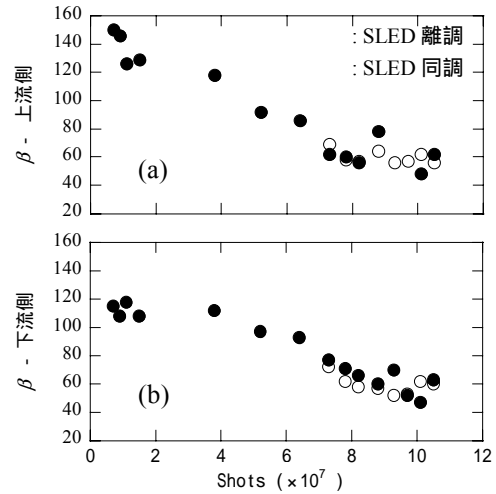


図 5: β vs. ショット数 (a) 上流側, (b) 下流側

2. 加速管の超純水高圧洗浄

高電界で安定に働くようにする研究は、超伝導空洞や常伝導空洞についてこれまでに多く行われてきた^{[3][4][5]}。その中の一つに超純水高圧洗浄を用いる方法がある。空洞内面を超純水で高圧洗浄し、電界出現象の原因の一つである塵などの汚染物を取り除く方法である。この方法を S バンド 2m 加速管に利用することを考える。

2.1 高圧洗浄による塵の除去効果

高圧洗浄によって塵がどの程度除去されるかを評価するために、加速管で使用されているディスク (外径 $\phi 92\text{mm}$) の供試体を用いて実験を行った。洗浄は水圧 (3.0, 5.5, 8.0MPa)、洗浄時間 (6, 15, 30 分) を変えて行い、ディスク表面に付いている塵の数や大きさ、表面状態を電子顕微鏡 (SEM) で観察して洗浄前後での比較を行った (観測範囲は 1mm^2)。ノズルは図 6 (a) を使用し、供試体ディスクをステンレス容器に取り付けた状態 (図 6 (b)) で回転と上下動を行いながら洗浄した (図 6 (c))。洗浄後の乾燥は、スクロールポンプによる真空乾燥を行った。

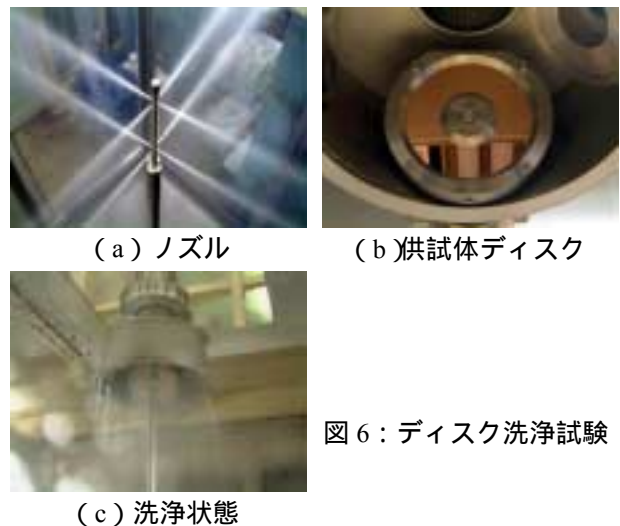


図 6: ディスク洗浄試験

図 7 は塵の数や大きさの洗浄前後の比較である。どのケースも 1/10 以下に減っていることが分かる。

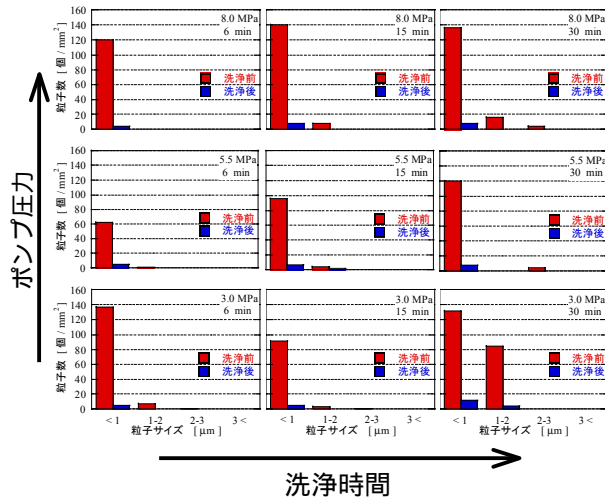


図 7：塵の数，大きさの洗浄前後の比較

2.2 洗浄条件の決定

本機加速管の洗浄はこれからであるが，その条件を決めるために今後以下のことを実施する予定である。

- (1) アクリル製 13 空洞の供試体 (図 8) を使い，洗浄状態，水の排出状況を確認する。
- (2) 無酸素銅製 6 空洞の供試体を洗浄し，真空乾燥したディスクの表面分析，塵の観測を行う。

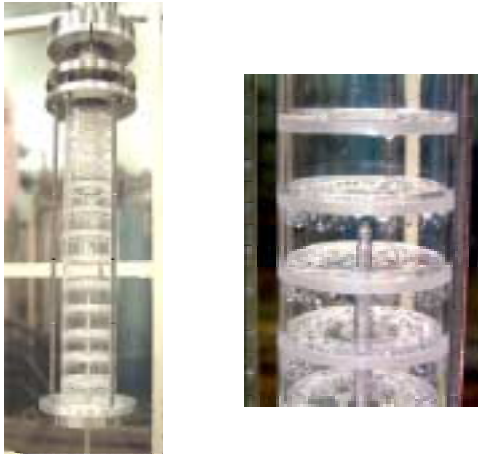


図 8：アクリル供試体

2.3 本機加速管の洗浄

本機加速管の洗浄は図 9 のような方法を考えている。加速管を垂直に立てた状態で回転と上下動をさせ，下側の半分を洗浄した後で加速管を反転させて残りの半分を洗浄する。洗浄後は直ちに真空乾燥 (水排出) を行い，クリーンルーム内で各種バルブ，ゲート弁を装着する。その後，ターボポンプによる高真空排気を十分にを行い，加速管エージングスタンド

に組み込んで大電力試験を行う。クリーンルーム内での組立後は加速管内部を大気にさらす事はない。

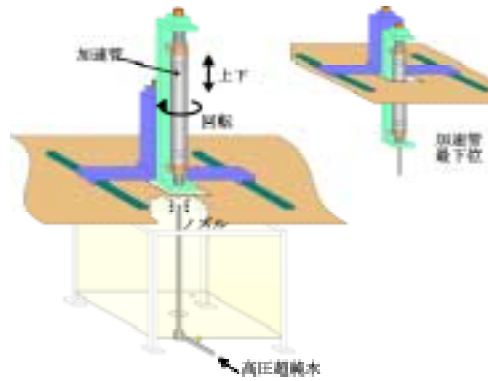


図 9：加速管洗浄姿 (案)

3. まとめと今後の予定

- (1) S バンド 2m 加速管の大電力試験を行った結果，最大平均加速電界強度は約 40 MV/m (1.0×10^8 ショット後) となり，電界増倍係数 β は加速管上流側で 52，下流側で 53 であった。
- (2) 大電力試験終了後の出力ケーブル変色の原因を調べるためシミュレーションを行う。更に，ケーブル部の三日月状の窪み (電磁場分布の非対称性を補正) を無くした加速管を製作して高電界試験を行い比較する。
- (3) S バンド 2m 加速管の超純水高圧洗浄を行い，大電力試験を行う。

謝辞

加速管の大電力試験を行うにあたり，KEK 松本利広氏や他の KEKB 入射器の方々に協力していただきました。また，純水洗浄に関する貴重な助言を KEK 齋藤健治氏から，供試体洗浄用具の貸し出しを KEK 肥後壽泰氏からしていただきました。ここに深く感謝致します。

参考文献

- [1] S.Yamaguchi et al., "High-Power Test of the S-band Accelerator guide for the KEKB Injector Linac", Proceedings of the 1st Asian Particle Accelerator Conference, 23-27 March, 1998, Tsukuba, Japan.
- [2] H.Matsumoto et al., "High power Test of an S-band Accelerator Unit for Japan Linear Collider", Proceedings of the 19th Linear Accelerator Meeting in Japan, 245-247, 1994.
- [3] K.Saito et al., "Study of Ultra-clean Surface for Niobium SC Cavities", Proceedings of the 6th Workshop on Superconductivity, 4-8 October, 1993, CEBAF, Newport News, USA, p.1151-1159.
- [4] H.Matsumoto et al., "An S-band 3m-long Accelerating Structure for ATF", Proceedings of the 18th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, 21-23 July, 1993.
- [5] M.Yoshioka et al., "High Gradient Studies on UHV Room Temperature Cavities at S-band for Linear Colliders", Proceedings of the 1994 International Linac Conference, 1994, Tsukuba, Japan, p.302-304.