X-BAND HIGH POWER COMPONENT STUDY FOR HIGH GRADIENT RF LINAC

Ken Watanabe^{1,A)}, Toshiyasu Higo^{B)}, Hitoshi Hayano^{B)}, Nobuhiro Terunuma^{B)}, Takayuki Saeki^{B)}, Noboru Kudo^{B)}, Shuji Matumoto^{B)}, Shuichi Tokumoto^{B)}, Shigeki Fukuda^{B)}, Mitsuo Akemoto^{B)}, Atsushi Enomoto^{B)},

Taikan Suehara^{C)}

A) Sokendai

Shonan Village, Hayama, Kanagawa 240-0193

^{B)} KEK

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

^{C)} Univ. of Tokyo

7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8654

Abstract

XTF (X-band Test Facility) was founded for the high power test for X-band RF system aiming at main linac acceleration for linear collider. The high gradient study of X-band accelerating structures, the high power study of Xband RF components with developing the breakdown detection system has been proceeded at XTF since August, 2003.

We report in the present paper the studies on the 2 types stainless steel RF loads and the trial of the recycling of WR90 waveguides adding various treatments to cure the old waveguides. For there studies, the acoustic sensor was found very useful to realize the stable transmission through the waveguide.

XバンドRFコンポーネントの高電力性能評価と改良

概要 1.

XTF (X-band Test Facility) では、2003年10月 からKEK製X-band 周波数離散(HDS)型加速管(通 称: KX01)の高電界試験^{[1][2]}、X-band 用RFコン ポーネントの大電力試験と共に、これら加速器シス テムの安定化研究に有用な加速器システム内におけ る放電検出技術^[3]の開発研究を行っている。

リニアコライダーのような大電力伝送、高電界加 速を実現するとなると加速器システム内における放 電現象が問題となる。安定な運転を行うためには、 放電頻度の少ない信頼性のあるコンポーネントが不 可欠であり、そのためにはコンポーネントの評価を 行うための放電位置検出技術が不可欠である。

本報告ではX-band 加速器システムを構築する際 に不可欠なRFコンポーネント(表面電界強度を抑え たステンレスRFロード^[4]、表面処理を施し特性改善 を試みたWR90導波管)の大電力試験について述べる。 特に音響素子を用いた放電位置検出により放電特性 の評価を確実にできることを述べる。



¹ E-mail: kenw@post.kek.jp

2. 放電位置検出方法

放電位置を検出する方法には①RF波形による方法、 ②真空度を観測する方法、③X線を検出する方法、 ④音響センサーを用いた方法がある。今回、RFロー ド、導波管の放電位置を検出するにあたって音響セ ンサーを採用した。その理由は:①金属内を伝搬す る音響信号はCuの場合、約5000m/sであり、導波管 を伝搬するRF(2.4×10⁸m/s)に比べ十分遅いこと から高い位置分解能が期待できるところにある。② 音響信号は金属内のみを伝搬するため信号の検出が 容易である。③音響センサーは図1のようにコン ポーネントに外部から直接貼り付けて使用できるた め、システムのあらゆる場所に容易に設置できるた め、汎用性が高い。

音響センサーを用いて放電位置を検出する方法と して2つの方法がある。一つは発生源からセンサー までの到達時間の差を利用した方法(時間差)と、 音響センサーの出力の振幅を用いた方法である。前 者は主に導波管のように電力損失の小さいものに適 用し、後者はRFロードや加速管といった電力損失の 大きいものに適用できると考える。図2はRFを入力 したときのRFロードと導波管を伝搬する音響信号の 応答波形で、透過損失の大小により検出する音響信 号の違いが分かる。

時間差で放電位置を特定するためには、音響信号 の正確な伝搬速度を知る必要がある。WR90導波管に 対しての速度測定結果は3900m/sであった。これを 用いて到達時間から放電位置とセンサー間の距離を

評価できる。図3は導波管での放電イベント例であ る。図中の各グラフはRF通過後の各センサーからの 音響信号である。音響センサーd、eに信号(赤)が 観測された。RF通過時を0µsとするとdでは26µ s(発生源からの距離=93mm)、eでは13µs(48mm)遅れ て信号が到達している。それぞれ、発生源からの距 離を半径として円を描き、その円が重なった部分か ら放電位置が特定できる。時間差を用いた方法の位 置分解能は、現在のセンサーでは約10mmである。



一方、RFロードの場合は定常的に熱衝撃による音響信号(図2)が観測されるため、非放電時と放電時 との比較が難しい。そこで、熱衝撃による音響信号 の実効値は入力RFのエネルギーに比例する(図4) ことに注目し、図5に示す理解で放電位置を評価し た。放電が生ずると放電位置近傍の気体分子等がプ ラズマ状態になり、インピーダンスミスマッチが生 ずるためRFが反射する。音響信号は吸収したエネル ギーに比例することから、放電位置近傍では図6に 示すように音響信号に変化が現れる。今回この方法 では#5セル近傍が放電位置と推測した。これより、 今回のRFロードでの位置分解能は1セル程度である。



3. 大電力試験

図7に大電力試験時のセットアップを示す。RFコ ンポーネントにRFを供給し、そのときの放電頻度で 評価を行った。XTFシステムの最大伝送電力は 100MW(パルス幅400ns、繰り返し50Hz)である。した がって、XTFでは100MW級の電力伝送における信頼性 が鍵となる。今回はWR90導波管とRFロードの大電力 試験を行った。

①導波管はXTFシステム立ち上げ時に使用していたもので、40MW級の電力伝送で放電が多発し問題となっていたものである。導波管での放電現象の原因理解を深めるため、表面処理により特性が改善されるか調べることにした。試験に使用した導波管は空中に長年保管され、内部が酸化等で黒ずみ有りのものである。これら導波管に化学洗浄や水素炉での高温処理を施した。表1に試験導波管一覧を示す。



②RFロードはSLACデザインのロード^[5]とKEKデザ インのロード^[4]の2本を試験した。RFロードの構造 は図5に示すように矩形導波管、円形モードコン バーター、ロード部(磁性ステンレスSS430を用い たセルの組み合わせ)で構成される。KEKデザイン のものは図8に示すようにSLACデザインと比べセル の表面電界を抑え、かつモードコンバーターも楕円 形状を用いた滑らかなものに変更し、大電力に対し て信頼性を高めたものである。

音響センサーの配置(貼り付け間隔)を以下に示す。

→16個

- ・ 導波管:約5~10cm間隔
- RFロード:モードコンバーター →5個
 ロード部 →11個

試験導波管一覧											
型番	全長(mm) メーカー		処理前内面	表面処理方法	備考						
KS065	150	SEED	酸化:黒、放電	H2炉処理							
KS032	200	SEED	酸化:黒、放電	処理なし							
KS077	108	SEED	酸化:黒、放電	CP処理(三愛)							
KS1054	150	SEED	酸化:黒、放電	H2炉ロウ付け	KS033を切断						
KS1055	150	SEED	酸化:黒、放電	CP+H2炉	KS033を切断						
KH012	170	日高波	酸化:黒、放電	処理なし							
KH015	170	日高波	酸化:黒、放電	H2炉処理							
KS1052	67	KEK	-	新品							

※なぉ、フランジのエッジ部は放電抑制のため、すべて丸め処理を行っている。 表1 試験導波管一覧



4. 試験結果

図9に大電力試験の運転履歴を示す。表2に大電力 試験時の各導波管の放電回数を示す。

試験を開始直後の100ns(1)ではKS032(処理なし) の放電が多発した。この放電は入力電力のある閾値 を超えると発生する傾向があるため、このような導 波管は試験を進めるにあたって試験ラインから取り 外していくことにした。次に200ns(1)ではKS077(化 学洗浄処理)、KS1054(水素炉処理)の放電が多発し た。その後、400ns(1) ヘパルス幅を上げて試験を進 めていった。その結果、KS032を除くすべての導波 管は<40MWまで安定な挙動を示したが、それ以上に なるとKS077で放電が多発した。KS077とKS1054を取 り外し、100ns(3)から試験を進めた。100ns(3)では <85MW、200ns(2)では<75MWまで残るすべての導波管 の放電は起こらなかった。200ns(2)、>75MWで KH012(処理なし、H-ベンド)で放電が生じた。 400ns(2)では<55MWまでは放電が起こらなかった。 ここで、>55MWになると、試験導波管よりも図7の combiner~RF window間で放電が多発したため、試 験の継続は困難となったため試験を終了した。



WG type	100ns (1)	100ns (2)	200ns (1)	400ns (1)	100ns (3)	200ns (2)	400ns (2)				
KH015	0	2	4	1	0	2	4				
KH012	0	1	3	5	1	12	3				
KS1052	0	0	1	2	0	2	0				
KS065	0	0	4	0	0	1	0				
KS032	15	********	*******	*******	******	********	********				
KS077	3	15	22	16	*******	*******	*********				
KS1054	0	3	13	2	*******	********	********				
KS1055	0	1	1	1	0	1	1				
********:放電が多発していたため取り外した。											
運転周波数·50Hz											

表2 導波管試験結果(放電回数)

たものは100ns、35MWレベルから400ns、<55MWまで 耐電力特性が大きく改善された。

RFロードの放電回数の位置分布を図10に示す。(a) はSLACデザインのRFロードの400ns、>55MWで20 時間(3.6×10⁶pulseに相当)運転した時の放電分布で ある。(b)はKEKデザインのRFロードの図9に示した 運転での放電分布である。この実験結果より放電分 布よりSLACデザインは全体的に放電が起きており、 一方、KEKデザインではロードの中間(#4~#8セル) で放電が多発していることが分かった。また、KEK デザインでは特にモードコンバーターでの放電頻度 が改善されたことが分かる。大電力試験の結果、両 ロード共に400ns、<55MWでは問題無く動作するこ とが確認できた。これ以上の特性を見るためには試 験ラインのcombiner~RF window間の安定化を行う 必要が明白になった。



5. まとめ

導波管の内面処理を試みた結果、水素炉処理を 行った導波管の特性は大きく改善されることが分 かった。また、化学洗浄処理のみではほとんど効果 が無いことが分かった。

RFロードの大電力試験からは、モードコンバー ター近傍での放電が改善された。両ロード共に 400ns、<55MWでの安定性が確認できた。

参考文献

- [1] 渡邊謙. "High Gradient Test of X-band Accelerator Structure at GLCTA", Proceedings of the First Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Funabashi, Japan.
- [2] 肥後寿泰. "HIGH GRADIENT PERFORMANCE OF X-BAND ACCELERATOR STRUCTURE", 20P035 in this conference.
- [3] 末原大幹. "Analysis of X-band Structure Breakdown at GLCTA", Proceedings of the First Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Funabashi, Japan.
- [4] A. Lounine. "STAINLESS STEEL RF DRY LOAD WITH SUPPRESSING SURFACE ELECTRIC FIELD", 20P033 in this conference.
- [5] S. G. Tantawi and A. E. Vlieks, "Compact X-band High Power Load Using Magnetic Stainless Steel", Proc. 1995 Particle Accelerator Conf., p. 2132