

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

Ken Watanabe<sup>1,A)</sup>, Toshiyasu Higo<sup>B)</sup>, Hitoshi Hayano<sup>B)</sup>, Nobuhiro Terunuma<sup>B)</sup>, Takayuki Saeki<sup>B)</sup>, Noboru Kudo<sup>B)</sup>,  
Shuji Matumoto<sup>B)</sup>, Shuichi Tokumoto<sup>B)</sup>, Shigeki Fukuda<sup>B)</sup>, Mitsuo Akemoto<sup>B)</sup>, Atsushi Enomoto<sup>B)</sup>,  
Taikan Suehara<sup>C)</sup>

<sup>A)</sup> Sokendai

Shonan Village, Hayama, Kanagawa 240-0193

<sup>B)</sup> KEK

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

<sup>C)</sup> 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 X-band 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 these 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

### 1. 概要

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<sup>[1][2]</sup>、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<sup>[3]</sup>の開発研究を行っている。

リ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加速管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<sup>[4]</sup>、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。



図1 音響センサー  
形状 φ10、t 10

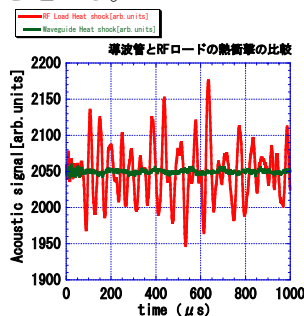


図2 応答波形

### 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 (2.4×10<sup>8</sup>m/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ことにある。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

<sup>1</sup> E-mail: kenw@post.kek.jp

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0 $\mu$ sとするとdでは26 $\mu$ s(発生源からの距離=93mm)、eでは13 $\mu$ s(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。

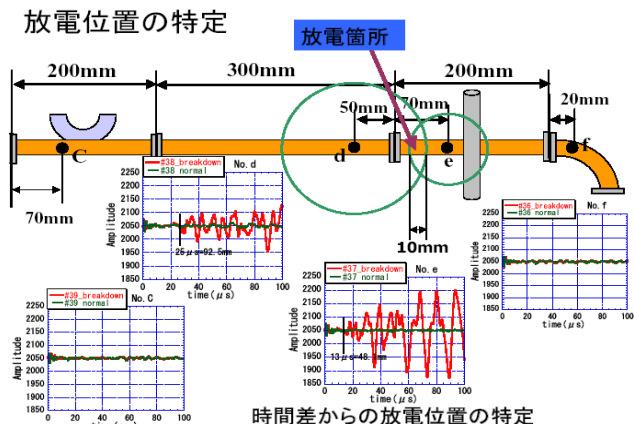


図3 導波管の放電イベント例

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。

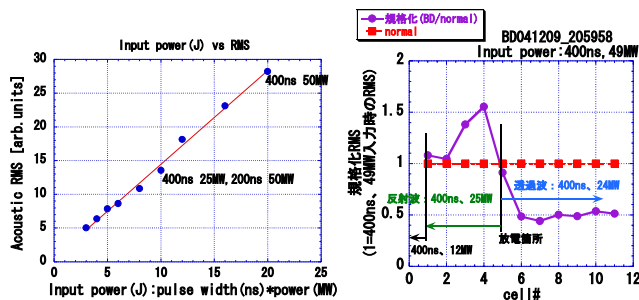


図4 RMSとエネルギー

図6 RFロード放電例

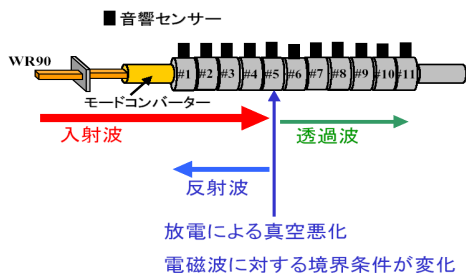


図5 RFロード内の放電検出原理

### 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。

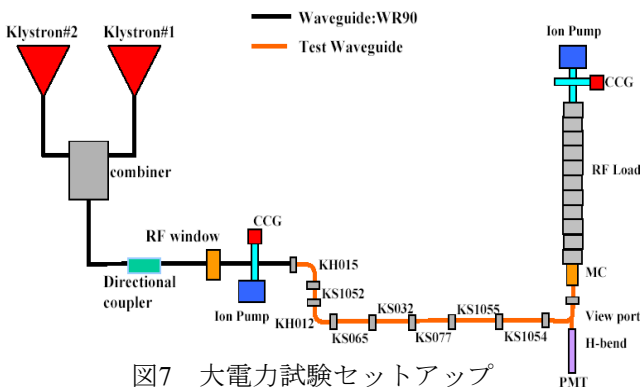


図7 大電力試験セットアップ

②RFロードはSLACデザインのロード<sup>[5]</sup>とKEKデザインのロード<sup>[4]</sup>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デザインのものには図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。

- 導波管: 約5~10cm間隔 → 16個
- 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炉口付け	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	

※なお、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

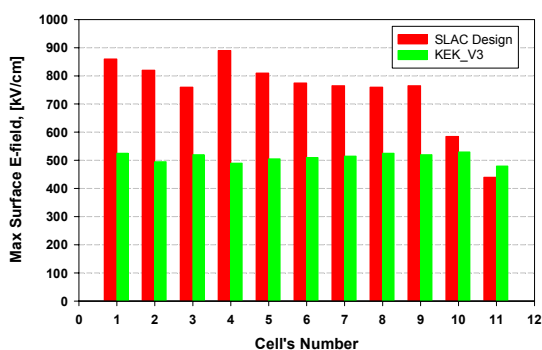


図8 RFロード表面電界強度

#### 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)へ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。

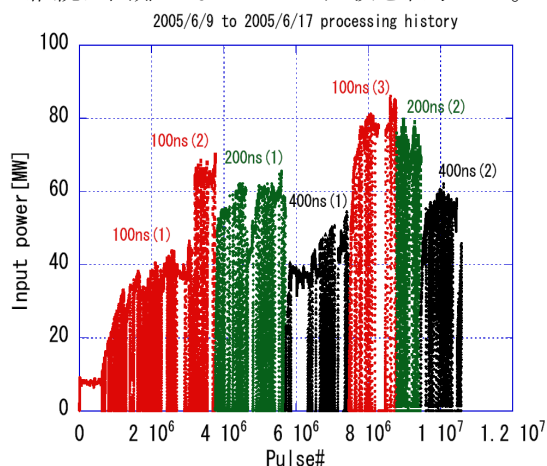


図9 運転履歴

導波管試験結果

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

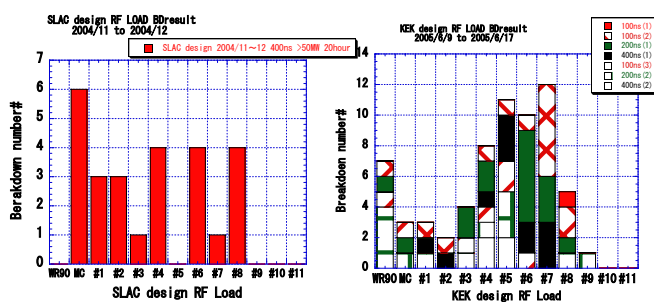
\*\*\*\*\* 放電が多発していたため取り外した。

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(3.6×10<sup>6</sup>pulse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。



(a)SLACデザイン

(b)KEKデザイン

図10 RFロード試験結果

#### 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

