

## HIGH POWER TEST OF TTF-V INPUT COUPLERS

Masato Sato<sup>1A)</sup>, Eiji.Kako<sup>A)</sup>, Yasuchika Yamamoto<sup>A)</sup>, Ken Watanabe<sup>A)</sup>,  
Shuichi Noguchi<sup>A)</sup>, Hassan Jenhani<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization  
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan, 305-0801

<sup>B)</sup> CEA-Saclay  
91191, Gif-sur-Yvette cedex, France

### Abstract

The TTF-V input couplers were originally designed at DESY and they were fabricated at LAL-Orsay. The conditioning of the couplers was carried out in collaboration with LAL-Orsay from February till May in 2009. In the initial stage, the conditioning was started in the pulsed operation with shorter pulse width of  $20 \mu\text{s}$ . And then, the power level and the pulse width were gradually increased up to 2 MW and 1.5 ms at 5 Hz. The vacuum pressure and the emitted electrons were carefully observed during the conditioning to avoid the fatal damage of the RF windows. In this report, we will report the conditioning result of the TTF-V couplers.

## TTF-V 入力結合器の大電力試験

### 1. TTF-V 入力結合器

ドイツのDESYでXFEL計画が進行中であり、Lバンド超伝導加速空洞用に入力結合器TTF-IIIカップラーが開発された。この入力結合器は同軸タイプで結合度が可変であり、円筒セラミック窓を使用していることが特徴である。XFELでは運転加速勾配が $23.5 \text{ MV/m}$ 、ビーム電流値 $10 \text{ mA}$ であるのに対し、ILCでの運転仕様は $31.5 \text{ MV/m}$ 、 $10 \text{ mA}$ であり、単位長さ当たりのビーム負荷がXFELの1.3倍となる。フランスのLAL (Linear Accelerator Laboratory) でTTF-IIIカップラーをILC用に改良を加えたものがTTF-Vカップラーである。外導体直径を $62 \text{ mm}$ に上げ、マルチパクターリング共鳴条件を大電力側にシフトさせている。KEKではLバンド超伝導加速空洞の開発試験を行うためにSTF (Superconducting RF Test Facility) が整備されており、この大電力高周波シ

テムを用いてTTF-Vの大電力試験が行われた。

### 2. RF 試験の機器構成

STFにおけるRF試験の構成を図1に示す。2本のTTF-Vカップラーの低温部を結合導波管で接続し、RF回路の上流からPi1、Pr1、Pi2、Pr2の4台の方向結合器を設けることにより通過及び反射電力をモニターする。また、大電力運転時にはシステムの状況を確認するためにクライストロン出力Pklyをモニターした。真空度については二台のカプラーの室温部と低温部のそれぞれを共通に排気し、電離真空計Vac1、Vac2にてモニターをした。

他のセンサー類については図2に示すとおり熱電

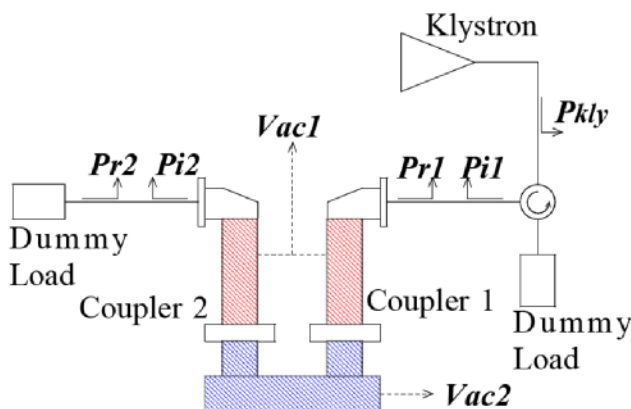


図1 : RF System

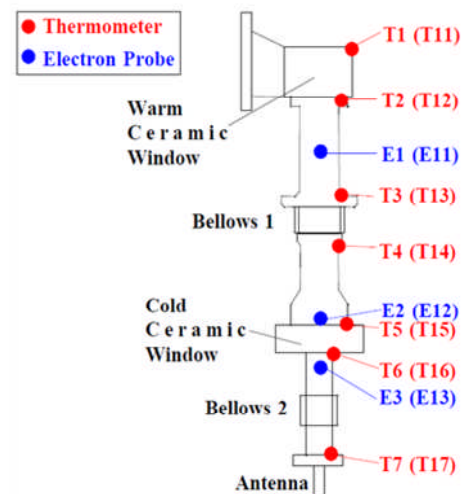


図2 : Sensor Position

<sup>1</sup> E-mail: masato.satoh@kek.jp

対（銅コンスタンタン）とエレクトロンプローブが設けられている。カップラー1についてはT1～T7とE1～E3、カップラー2についてはT11～T17とE11～E13が割り当てられ、温度と放出電子をモニターした。熱電対の具体的な取り付け位置は室温側セラミック窓、室温側ベローズ、低温側セラミック窓の各前後とアンテナポートのフランジ部である。このカップラーが超伝導空洞に実装される際はアンテナ側が極低温状態に、また導波管側が室温であるので、本稿では便宜的に“低温側”“室温側”という表現を用いる。

### 3. RF試験の経過

RF試験は2009年2月から2009年5月にかけて計三回実施され、ショートパルスからロングパルスへパルス幅を拡げて行き、投入電力も段階的に上げて行った。この試験の目標は5Hzのパルス運転において400μsのショートパルスで2MW、1.5msのロングパルスで1MWの電力を投入することであり、最終的にこれらの条件による運転を確立した。しかし、ショートパルス時のエージングが不十分であるために放電が発生した他、ロングパルス大電力では温度上昇と真空度悪化により長時間運転は困難であった。以下に三回のRF試験について主な経過を述べる。

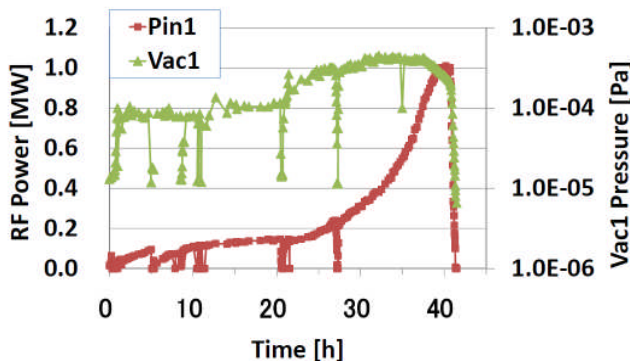


図3：1st RF Test

#### 3.1 第一回試験(2/6~2/10)

2/6～2/10の第一回試験ではパルス幅を20μsのショートパルスに設定し、1MWまでの電力を投入した(図3)。図の横軸はRF電力を投入した通算時間を示している。繰り返し周波数は原則5Hzで行ったが、途中10時間目から20時間目については安全且つ効率的なエージングを期待して1Hzに変更している。この間はアークセンサーインターロックによるシステムダウンが度々生じた他、一定RF電力に対する真空度の改善が見られないことにより5Hz運転に再び戻された。20時間目以降は真空度のインターロックレベルを2E-4～5E-4Paへと適宜変更し、真空度と電子放出量を

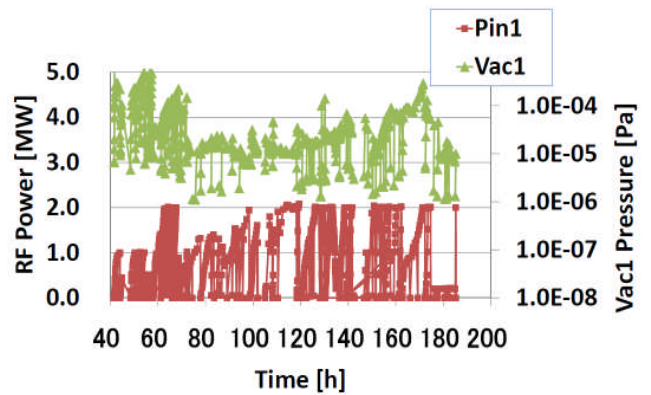


図4：2nd RF Test

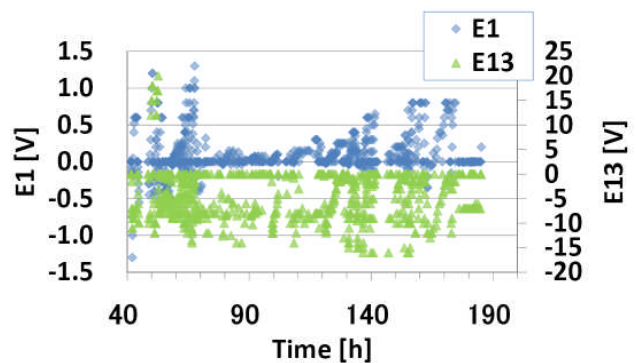


図5：Electron activity in the 2nd RF test

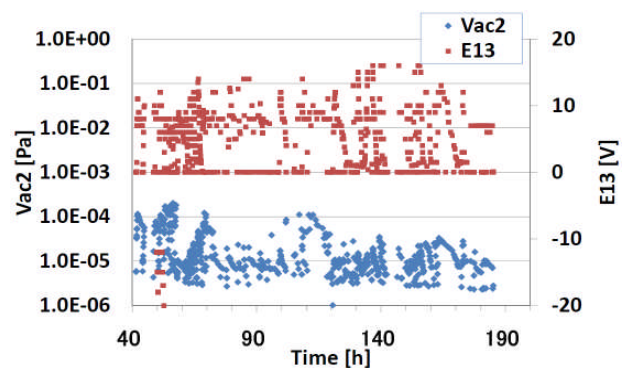


図6：Vac2 and E13 in the 2nd RF test

監視しながら投入電力を上げて行った。200kWまで既に約30時間のエージングを要しているが、その後1MWまでは約10時間程度で到達した。

#### 3.2 第二回試験(3/9~3/27)

第二回試験は3/9～3/27に実施され(図4)、この期間で目標とするショートパルスとロングパルスの最大電力を投入する予定であった。パルス幅20μs～200μsについては順調に2MWの電力投入できたが、パルス幅400μsで900kWの電力を投入した時に一回目の放電が発生した。放電音とともにアークセンサーと真空インターロックによりRFシステムがダウンした。通算時間で7

0時間目である。図中70時間目から真空度が急激に低下しているのは、以降は断続的に真空悪化現象が起り、繰り返し周波数を1Hzに下げ、パルス幅も10 $\mu$ sに変更したからである(90~120時間目)。第二回試験時の電子放出量を図5に示しており、E1プローブの挙動はVac1の変動によく一致している。検出量の絶対値は異なるがE13を除く全てのプローブについてはE1と同様、周辺の真空度の変動と相関が強い。これに対しカプラー2のコールド窓低温側に位置するE13は図6に示すとおり、周辺のVac2との相関が弱い(ただし、E13の符号は真空度と比較するために反転させている)。放電発生以降の1Hz、パルス幅10 $\mu$ sの低電力時にVac2は低下しているのに対し、E13は一定して10V前後の出力が観察された。エレクトロンプローブの出力電圧はプローブ周辺の電磁場の影響を強く受け、各位置、運転状態により極性が異なる。

120時間目以降は再び5Hzに戻され、パルス幅と投入電力を段階的に上げ、通算時間の175時間目で400 $\mu$ s、2MWに到達した。その後800 $\mu$ s、1300 $\mu$ sへパルス幅を伸ばしたがロングパルスでは200kWの電力までエージングを確認した。

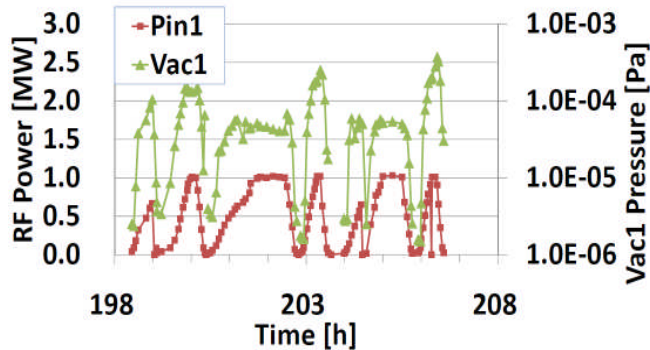


図7 : 3rd RF Test

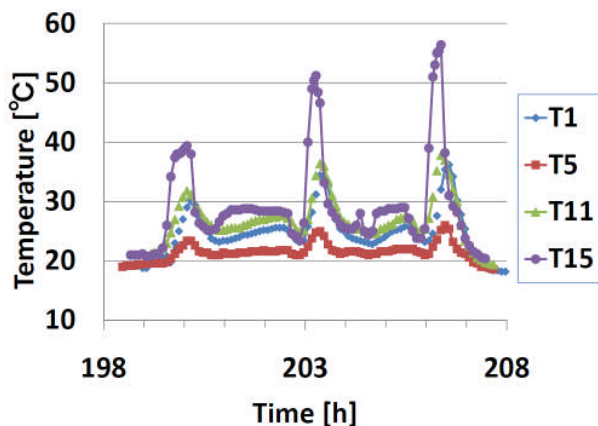


図8 : Temperature in the 3rd RF test

### 3.3 第三回試験(5/18~5/20)

第二回の試験が終了してから三回目RF試験までの52日の休止期間中は6E-6Paの高真空でシステムを保持している。第三回RF試験は5/18~5/20、通算時間の190~206時間に行い、特にロングパルスで1MWの運転を目標とした。ここで199~206時間目の運転状況を図7、また、その時の各所の温度変化を図8に示す。前回二回の試験によるエージングが有効であり、短時間で大電力を投入できている。この期間では繰り返し周波数を1Hzと5Hzに切り替えながらパルス幅を800 $\mu$ s、1.3ms、1.5msへ伸ばして行き、最終的に目標値の1.5ms、1MWに到達した。既に扇風機による強制空冷は行っているが、投入電力に応じて温度上昇と真空悪化が見られる。パルス幅1.3msと1.5msで1MWを投入した際はセラミック窓の破損を防ぐためにピーク電力を保持したのは5分間に止めており、その5分の保持時間中も温度上昇と真空悪化が見られる。温度上昇の最も大きいのは熱電対T15でカプラー2のセラミック窓上端であり、最大56.5°Cに達した。付近には変則的挙動を示すE13があり、エレクトロン放出との関連が考えられる。カプラー1の同じ位置にあるT5は最大26.0°Cに上昇しており、E3の出力も低い。室温側導波管上部のT1とT11については共に約3.6°Cの温度上昇であった。

### 4. 終わりに

STFでRF試験を終了して、現在TTF-V入力結合器は分解梱包後にLALに返送された。この分解作業中には二台共に室温側導波管接続部に放電痕が確認されており、フランジ接続部の設計変更が望まれる。その他、ヘリウムリーク試験を行った結果は、室温側、低温側共にセラミック窓からの真空リークはないことも確認できた。今後はLALにおいて温度上昇と電子放出の大きかったカプラー2の低温側セラミック窓付近が分解検査される予定である。

### 謝辞

本研究は2008年度日仏共同研究(FJPLL)による資金援助によって行われた。