

## Lバンド-レゾナントリング安定運転に向けた改良と今後の試験予定

### IMPROVEMENTS AND FUTURE TEST PLANS OF L-BAND RESONANT RING

石本和也<sup>#, A)</sup>, 沼田直人<sup>A)</sup>, 塙泰河<sup>A)</sup>, 明本光生<sup>B)</sup>, 荒川大<sup>B)</sup>, 片桐広明<sup>B)</sup>, 中島啓光<sup>B)</sup>, 松本修二<sup>B)</sup>,  
松本利広<sup>B)</sup>, 三浦孝子<sup>B)</sup>

Kazuya Ishimoto<sup>#, A)</sup>, Naoto Numata<sup>A)</sup>, Taiga Hanawa<sup>A)</sup>, Mitsuo Akemoto<sup>B)</sup>, Dai Arakawa<sup>B)</sup>, Hiroaki Katagiri<sup>B)</sup>,  
Hiromitsu Nakajima<sup>B)</sup>, Shuji Matsumoto<sup>B)</sup>, Toshihiro Matsumoto<sup>B)</sup>, Takako Miura<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> NAT Corporation

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

#### Abstract

In the International Linear Collider (ILC), a multi-beam klystron (MBK) will be used as an RF source for superconducting (SC) cavities. Its specifications are frequency 1300 MHz, pulse width 1.65ms, repetition rate 5 Hz, and maximum RF output 10 MW (5 MW\*2 ports). The power distribution system from the MBK to the input coupler of the SC cavity is constructed by using L-Band waveguide (WR650). Therefore, waveguides must withstand up to 5 MW of RF power. A resonant ring has been constructed in the KEK STF building as a high-power test facility. However, the components of the resonant ring are frequently discharging in the tube when the RF power is less than the RF power required for the ILC. In this presentation, we will report on the problems of the resonant ring, improvements for stable operation, and plans for future tests.

#### 1. はじめに

国際リニアコライダー(ILC)での超伝導空洞への高周波源として 10 MW マルチビームクライストロン(MBK)の使用を予定しており、仕様は運転周波数 1300 MHz, パルス幅 1.65 ms, 繰り返し 5Hz, 最大出力 10 MW(5 MW × 2 ポート)である[1]。ILC の高周波系では、高周波源から超伝導空洞に付帯した入力カプラーまで L-band 方形導波管(WR650)を用いて立体回路を構築、RF を供給する。電力分配系は、透過 RF が各々の導波管機器で変動する為、想定される RF 出力に耐えることが重要である。

現在 KEK STF 棟内には大電力試験設備としてレゾナントリングを構築、運用している[2]。しかし導波管機器の大電力試験中、レゾナントリングを構成している導波管機器内での管内放電が頻発に起きており、試験に支障をきたしている。

本発表ではレゾナントリングの不具合及び安定運転に向けた改良、今後の試験予定について報告を行う。

#### 2. レゾナントリングの構成

このレゾナントリングは、11 dB ハイブリッド、3 dB ハイブリッド、導波管移相器、方向性結合器、3 スタブチューナーといった導波管機器で構成され、RF 窓によって区切られた試験ラインを設けている(Fig. 1)。増幅率 13 dB、RF 最大出力 5 MW を達成している。また、放電箇所特定の為に放電時の振動を検出する音響センサー及びビューポート越しに放電を検出するアークセンサーを複数台設置している[3]。

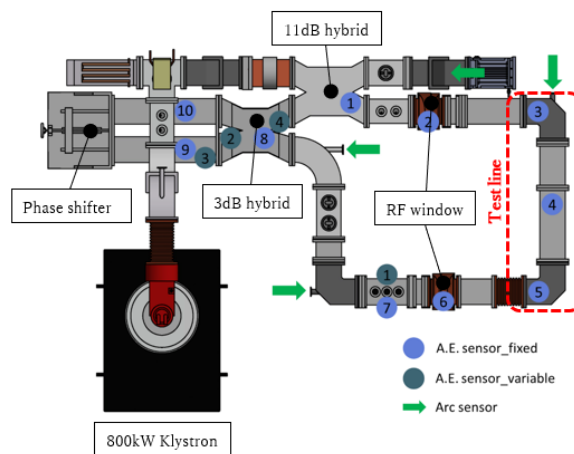


Figure 1: L-band resonant ring system in the STF.

#### 3. 運転時の不具合

2022 年～2024 年までのレゾナントリング運転時のインターロック発報履歴を Fig. 2 に示す。通常、導波管機器の大電力試験では、徐々に RF パルス幅を長くしてコンデイショニングをする手順で進める。ロングパルス(800 μs 以上)運転で特定の場所で数回放電が発生すると放電痕が付着、放電限界が低下し、ショートパルス(800 μs 未満)運転でも放電が発生しているのが分かる。3 dB ハイブリッドに関して放電痕の研磨により放電頻度が改善したが、3 スタブチューナーに関しては放電痕の付着がひどく、研磨できない箇所でもあった為、ILC で要求されるパワー(パルス幅 1.65 ms, 繰り返し 5 Hz, 最大出力 5 MW)の条件で試験対象物の大電力試験が実施できない状況となってしまった。

<sup>#</sup> nat-kazu@post.kek.jp

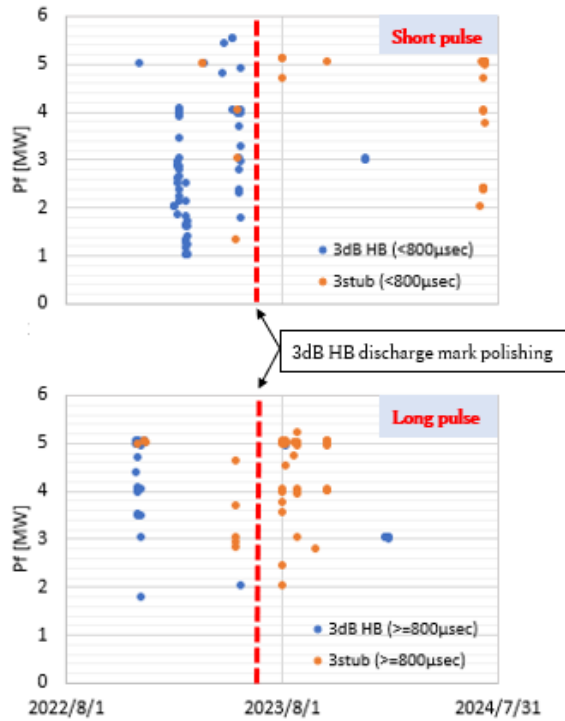


Figure 2: Interlock firing history.

#### 4. 導波管機器内部の放電状況

音響センサー及びアークセンサーで反応のあった 3 dB ハイブリッド、3 スタブチューナーの内面調査を行った。

3 dB ハイブリッドは入力 RF を分配する分岐部分の隙間に放電痕が多数見つかった(Fig. 3)。これは以前から発生しており、その都度放電痕の研磨及びインジウム貼付等の対処をしてきた[4]。しかし、対処後は放電限界が上がる傾向は見えるが、数回放電を繰り返すうちにまた放電限界が著しく下がってしまう為、根本的な原因解決には至っていない。

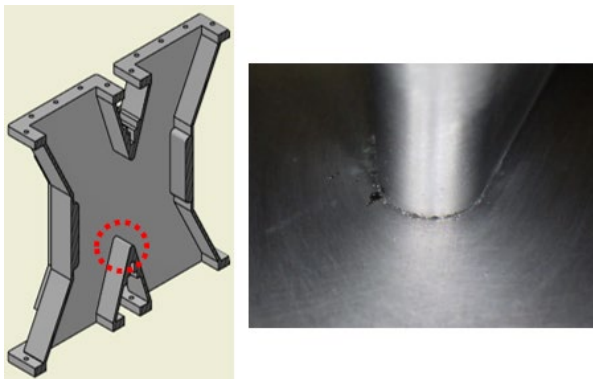


Figure 3: 3 dB hybrid internal discharge.

3 スタブチューナーは、3 本のアルミ製ロッドを導波管内へ出し入れするタイプのマイクロ波整合器である。円柱状のアルミ製ロッドと導波管との間にはシールドフィンガーを用いて接触させ、ロッドがそれぞれ最大 50 mm 導

波管内部へ挿入できるような構造になっている。レゾナントリングは試験対象物の全長や形状によって導波管長が変化する場合、その都度に移相器及び3スタブチューナーを使用して増幅率が最大になる調整をする必要がある。放電痕はアルミ製ロッドとシールドフィンガーとの接触部付近に集中して発見された(Fig. 4)。これは調整を繰り返すうちにシールドフィンガーによってアルミ製のロッドが削られ、接触不良により放電したものとみられる。

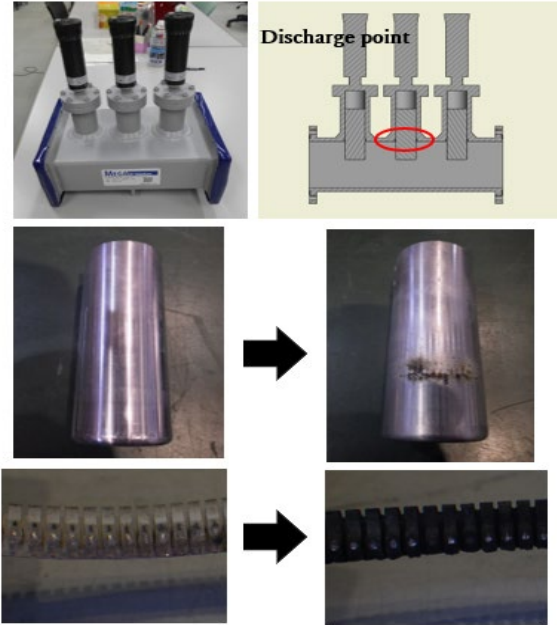


Figure 4: 3stub tuner internal discharge.

#### 5. 放電対策

従来品の 3 dB ハイブリッドはアルミ板同士を組み合わせ外側溶接する方法だった為、内部にアルミ板同士の隙間が生じたことにより、その空隙で放電発生したと思われる。今回、その対策として 3 dB ハイブリッドを真ん中で 2 分割し、指定の形状に加工後に 2 つを組み合わせるといった製造方法で製作した(Fig. 5)。この方法であればアルミブロックから削り出しで製造出来る為、問題となっている隙間は生じない。

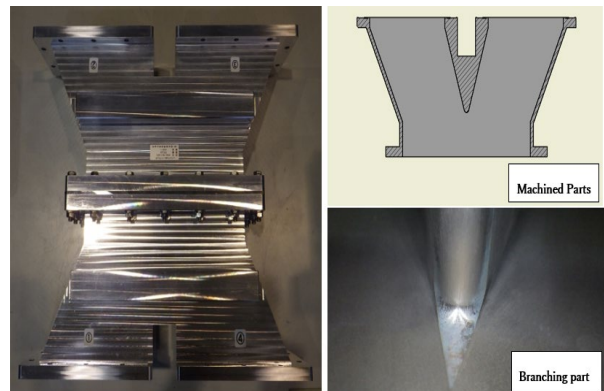


Figure 5: New type 3dB hybrid.

3 スタブチューナーに関しては、メーカーでの交換部品が存在しない為、寸法や形状の酷似したシールドフィンガーを購入、アルミ製ロッドは既存品をもとに製作し、交換して大電力試験を行うこととした。この試験結果が良好であれば、アルミ製ロッド及びシールドフィンガーの材質の変更、シールドフィンガーの形状を変える等の試験をする予定である。

## 6. 今後の試験予定

### 6.1 レゾナントリング主ライン

3 dB ハイブリッドに関しては、レゾナントリングに組み込んで大電力試験を実施し、ILC で要求されるパワー(パルス幅 1.65 ms, 繰り返し 5 Hz, 最大出力 5 MW)で累積 2 時間の運転に成功した。

現在は修復した 3 スタブチューナーをレゾナントリングに組み込み大電力試験を進めている。

### 6.2 導波管機器の大電力試験

主ラインの健全性が確立できれば、ILC で必須の導波管機器であるダミーロード及び移相器の開発を進める予定である。

ダミーロードに関しては、マイクロ波吸収体の選定を進めており、テスト筐体がすでに製作済みである。これは直線導波管の内部に試作品のマイクロ波吸収体を数枚組込み、大電力試験を通して導波管ラインからピックアップ

された RF モニター値をもとに RF 吸収量及び発熱量を調査する為の物である。

また、ILC の電力分配系での可変電力分配器 (VPD) の製作も進めている。この VPD は 2 台のマジック T と 2 台の導波管移相器で構成するものである[5]。

開発の前段試験として 200 mm の直線導波管内部に 100 mm の銅管を挿入させ導波管と銅管の接触部の健全性の試験を行う予定である(Fig. 6)。

## 7. まとめ

今回、レゾナントリングを運用していく上で重要な 3 dB ハイブリッド及び 3 スタブチューナーの放電対策を進めてきた。3 dB ハイブリッドに関しては、ILC で要求される RF パワーに耐える事が確認できた。3 スタブチューナーに関しては、現在レゾナントリングに組み込んで大電力試験を進めている。主ラインの放電問題が解決されれば、ILC に向けた導波管機器の開発が円滑に進められる為、非常に重要である。今後、レゾナントリングを構成している導波管機器で放電が発生した場合、交換部品のストックをあらかじめ準備し、迅速に対応できるように体制を整える予定である。さらに、ダミーロードの開発並びに移相器の開発に向けた導波管とシールドフィンガーの最適な接触方法の調査も進める予定である。

## 謝辞

本研究は、文部科学省「将来加速器の性能向上に向けた重要要素技術開発」事業 JPMXP1423812204 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] ILC, <https://linearcollider.org>
- [2] D. Baiting *et al.*, “High-power operation of an L-BAND resonant ring”, Proceedings of the 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Kyoto, Japan, July.31-Aug. 3, 2019, FRPH009.
- [3] N. Numata *et al.*, “Construction of RF system for RF gun operation at KEK-STF”, Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagaoka, Japan, Aug. 7-10, 2018, THP059.
- [4] T. Hanawa *et al.*, “Operation of L-band resonant ring for high power test of ILC waveguide components”, Proc. 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2023), Funabashi, Japan, Aug 29 – Sep 1, 2023, pp. 753-756.
- [5] J. Prakash *et al.*, “Development of a folded magic tee for the ILC power distribution system”, Proc. 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2023), Funabashi, Japan, Aug 29 – Sep 1, 2023, pp. 384-387.

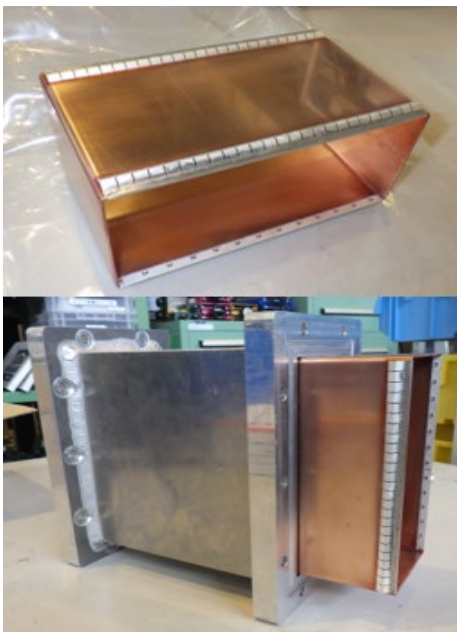


Figure 6: Phase shifter contact test waveguide.