

STF2 クライオモジュール用インプットカップラーの組立工程 ASSEMBLY PROCEDURE OF INPUT COUPLERS FOR STF-2 CRYOMODULE

今田信一^{#,A)}, 浅野峰行^{A)}, 植木竜一^{A)}, 柳町太亮^{A)}, 山田浩気^{A)}
岡田昭和^{B)}

宍戸寿朗^{C)}, 山本康史^{C)}, 加古永治^{C)}

Shin-ichi Imada^{#,A)}, Mineyuki Asano^{A)}, Ryuichi Ueki^{A)}, Taisuke Yanagimachi^{A)}, Hiroki Yamada^{A)}
Terukazu Okada^{B)}

Toshio Shishido^{C)}, Yasuchika Yamamoto^{C)}, Eiji Kako^{C)}

^{A)} Nippon Advanced Technology

^{B)} K-vac

^{C)} High Energy Accelerator Research Organization

Abstract

The ILC prototype cryomodules were constructed at STF as the STF-2 project. The input coupler, which is a coaxial antenna and provides high RF power to a 9-cell cavity, is one of the most important components in superconducting cavity system. The assembly procedure of the input couplers is as follows: Firstly, cold and warm coupler are assembled in a clean room and then tested at a high power test system. In the next, they are separated into cold and warm parts, and cold one is installed into the cavity in the clean room. Warm one is assembled from outside of a vacuum vessel in the cryomodule assembly. Finally, the coaxial-waveguide converter is attached on the warm coupler and connected to the high power waveguide system from a klystron. It is very important to assemble the input couplers in a clean environment in order to prevent the cavity performance degrading and protect discharge, when the high RF power is fed in the operation.

1. はじめに

KEK STF においては STF-2 計画として 2 台のクライオモジュール(CM1, CM2a)を建設した。CM1 は ILC の仕様をみたすクライオモジュールで、超伝導空洞 8 台と超伝導磁石が組み込まれ、CM2a には超伝導空洞 4 台が組み込まれている。これらの空洞には RF 電力を供給するための 12 個のインプットカップラーが取り付けられている。

インプットカップラーの実機の写真と詳細図をそれぞれ図 1, 2 に示す。インプットカップラーは低温部(cold coupler)と室温部(warm coupler)で構成される。カップラーを空洞に取り付ける際にゴミの侵入による空洞性能の劣化を防ぐためにクリーンルームでの組立が可能なように空洞近くの低温部に高周波窓(Warm window)が、また、対流による熱侵入を防ぐため、Cold window が破断しても空洞に影響を与えないためにもう一つ高周波窓(Warm window)が置かれた 2 重窓構造になっている。内導体のアンテナ先端にはベローが装着されており、この部分を伸縮することにより空洞との結合度を可変とし、結合度の可動範囲は $4 \sim 8 \times 10^6$ となっている。表 1 に基本仕様を示す[1, 2]。また、表 2 に銅メッキの膜厚条件を示す。青塗りの箇所はストライクメッキが金、それ以外の箇所はストライクメッキがニッケルとなっている。



Figure 1: STF-2 input coupler.

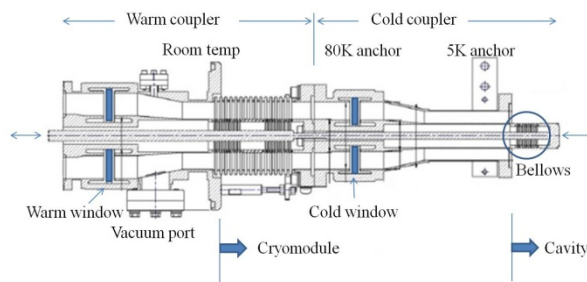


Figure 2: Schematic drawing of STF-2 input coupler.

[#] nat-ima@post.kek.jp

Table 1: Main Specification of STF-2 Input Coupler

| | |
|----------------------------|---------------------|
| Frequency | 1.3 GHz |
| Pulsed RF Power | 450 kW |
| RF pulse length / rep.rate | 1.5 ms / 5 Hz |
| Qext range | 4~8×10 ⁶ |

Table 2: Cu-plating Condition of STF-2 Input Couplers

| Coupler No | Cold | | Warm | |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| | inner (μm) | outer (μm) | inner (μm) | outer (μm) |
| CM1 | No11-12 | 20 | 3 | 10 |
| | No13-14 | 20 | 3 | 10 |
| | No15-16 | 20 | 5 | 20 |
| | No17-18 | 20 | 5 | 20 |
| CM2a | No21-22 | 25 | 10 | 25 |
| | No23-24 | 25 | 10 | 25 |

2. インプットカップラーの組立

2.1 コンディショニングの為の組立

インプットカップラーは空洞に取り付ける前に大電力高周波源システムに接続されたテストスタンドにおいて単体での性能試験が行われる[3]。ゴミなどによる放電によりカップラーが損傷するのを防ぐために、クリーンルームにおいて組立が行われる。性能試験はインプットカップラー2個を1セットとして行う。組立手順としては、Class1000のクリーンルームにおいて、低温部カップラーを超純水で洗浄し、エアーで水を飛ばした後、Class10のクリーンルームに搬入し一晩乾燥させる。室温部カップラーはイオンガンで洗浄化する。結合導波管、その他の真空部品は超音波洗浄する。図3に示すように結合導波管を組立、排気用ポートや観測用窓を取り付ける。低温部カップラーを結合導波管に取り付け、放出電子検出用のプローブを取り付け真空排気し、リークテストを行う。その後、図4のように室温部カップラーを取り付けアークセンサー用の窓や排気ポートを取り付け再度リークテストを行い、組立が完成となる。

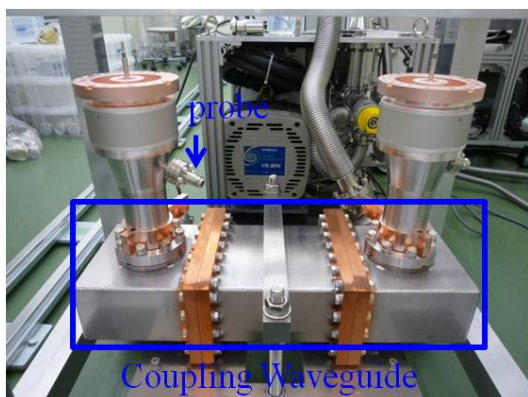


Figure 3: Cold coupler assembly for high power test.

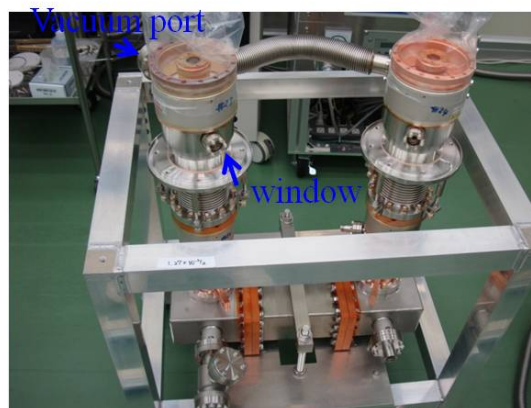


Figure 4: Warm coupler assembly for high power test.

2.2 RF特性の測定

クリーンルームでの組立が終わると設計通りのRF特性かどうか確認するための高周波測定が行われる。図5に測定のセットアップを示す。

室温部カップラーにドアノブ型同軸導波管変換器を取り付け、さらにN変換を取り付けネットワークアナライザーを用いて1.3GHzでのSパラメータを測定し、設計通り入射したパワーが反射・損失なく透過していることを確認する。その結果を表3に示す。表3から分かるように反射が小さく損失も少ないことが分かるが、CM1用のカップラーに比べてCM2a用のカップラーの反射が大きくなっている。これは空洞との結合度をILC specに合わせるためにCM2a用のカップラーでは内導体先端を2mm短くしたことにより、結合導波管との結合度が変化したためである。RF特性を測定し設計通りになっていることを確認後、テストスタンドでの性能試験を行う。テストスタンドに設置後、まずはインプットカップラーのベーキングを行う。ベーキングは120°Cで約65時間行う。ベーキング後の到達真空度は低温部が 2×10^{-6} Pa、室温部が 3×10^{-6} Paである。ベーキング後に性能試験を行うが、性能試験の詳細については柳町氏の発表[3]を参照されたい。

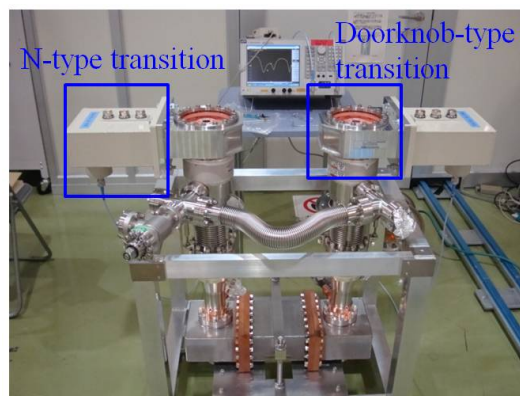


Figure 5: Set-up of RF measurement.

Table 3: RF Property of Input Couplers at 1.3GHz

| | Coupler No | S11(dB) | S21(dB) |
|------|------------|---------|---------|
| CM1 | No11-12 | -19.3 | -0.20 |
| | No13-14 | -20.2 | -0.16 |
| | No15-16 | -18.9 | -0.16 |
| | No17-18 | -16.9 | -0.19 |
| CM2a | No21-22 | -12.9 | -0.34 |
| | No23-24 | -12.7 | -0.39 |

2.3 空洞への低温部カップラーの取り付け

インプットカップラー単体での大電力試験が問題なく終了したら、空洞への取り付けに移る。まず、ドアノブ変換を外し、放電痕などが目視で確認する。カップラー全体をイオンガンで洗浄してから、クリーンルームに入れ Ar パージの後、室温部カップラーを取り外す。再度イオンガンで洗浄し、低温部を class10 クリーンルーム内に入れる。ボルト 2 本残してイオンガンで洗浄後(図 6)、結合導波管から取り外して、低温部をイオンガンで洗浄する。シール面にヘリコフレックスをセットする。空洞側のフランジのボルトを外しイオンガンで洗浄する。空洞に Ar ガスを導入しながらブランクフランジを取り外し、ガイドピンを取り付ける。低温部カップラーをフランジに取り付ける(図 7)。



Figure 6: Cleaning by an ionized gun.

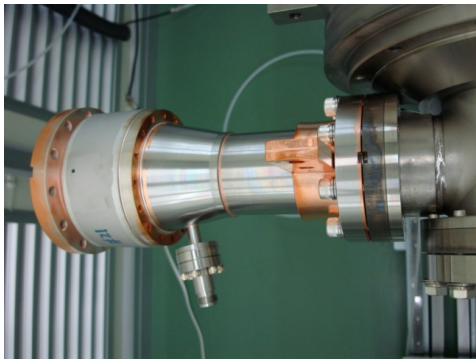


Figure 7: Installation of a cold coupler with a cavity.

2.4 室温部カップラーの取り付け

室温部カップラーはクライオモジュールの組立後に取り付けられる。まず、クリーンブースを設置し室温部カップラーの取り付け場所以外を養生し、クリーンな環境を作る。低温部側をイオンガンで洗浄し、ガイドピンを取り付ける。次に取り付け用特殊治具を取り付け、フランジ面の位置出しを行う。室温側カップラーは、フランジ類を取り外してイオンガンで洗浄する。内導体、外導体にヘリコフレックスをピンで固定する。室温部カップラーを低温部側に取り付け、外導体をボルトで固定し内導体にボルトを入れる。内導体のボルトを締めてから外導体のボルトを締める。低温部側との接続部には断熱のために Super insulator を巻く(図 8)。大フランジ(図 9 ①)を取り付け偏心フランジ(図 9 ③)の取り付け位置を決める。偏心フランジを入れて割りフランジ(図 9 ④)で固定する。中フランジ(図 9 ②)を取り付ける。中フランジの側面の 4 箇所(図 9 ④)のボルトを用いて中の偏心フランジを固定する。排気ポートを取り付け真空排気しリークテストを行う。

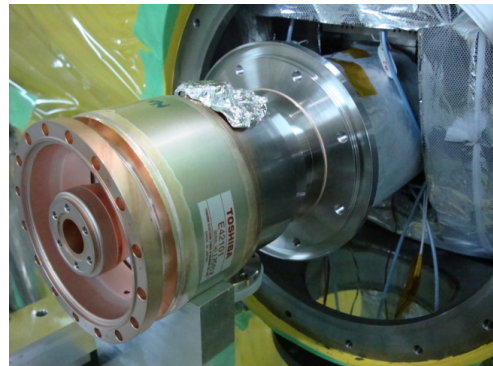


Figure 8: Warm coupler assembly.

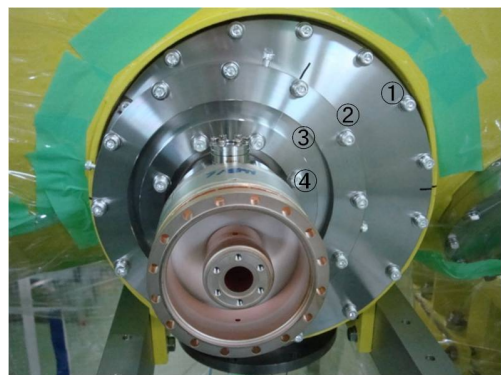


Figure 9: Completed flange assembly.

2.5 ドアノブ型同軸導波管変換器の取り付け

ドアノブ型同軸導波管変換器の取り付け前に再度インプットカップラーのベーキングを行い、その後、室温部カップラーにドアノブ型同軸導波管変換器を

取り付け。まず、図 10 のようにイオンガンで洗浄し、テフロン製のバックアップリングとオーリングをセットする。次に、アルコール拭きしイオンガンで洗浄したドアノブ変換を取り付ける(図 11)。こうして、高周波源からの導波管を通して供給される高周波(TE01 モード)がインプットカップラーの同軸モード(TEM モード)に変換される。最後に、内導体内部を真空引きするための排気ポートを取り付け完成となる(図 12)。

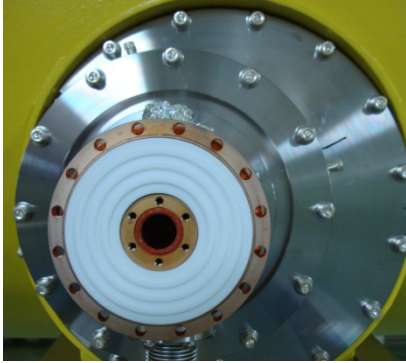


Figure 10: Setting the back-up ring and o-ring on the coupler.

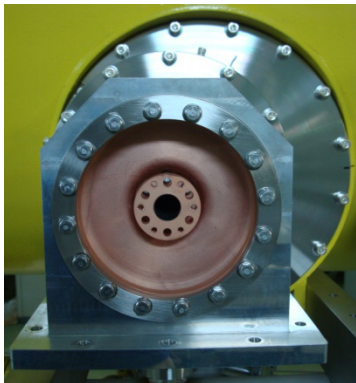


Figure 11: Attachment of a doorknob-type coaxial-waveguide transition.

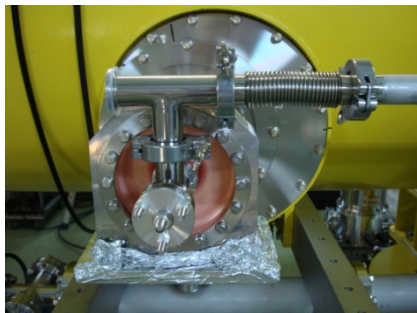


Figure 12: Assembly of vacuum pipes for pumping inside of the inner conductors.

3. まとめと今後

2014 年 7 月の完成検査をもって STF2 計画用 CM1, CM2a クライオモジュールの組立が完成した。今年秋には冷却を開始し、低電力高周波試験が行われ、来年には大電力高周波試験が行われる予定である。空洞性能の劣化の有無、カップラーの性能について確認し、今後の組立手順にフィードバックしたい。

参考文献

- [1] 加古永治、「超伝導空洞の高周波設計」高エネルギー加速器セミナー OHO'06 テキスト、(2006)
- [2] E. Kako, 「ILC 用超伝導空洞の開発」, 低温工学 48 (2013), "Development of superconducting cavities for ILC", TEION KOGAKU 48 (2013).
- [3] T. Yanagimachi, et al., 「STF2 クライオモジュール用インプットカップラーのテストスタンドでの大電力試験」, 本学会, "High power tests of input couplers at test-stand for STF2 cryomodule, in these proceedings".