

HIGH POWER INPUT COUPLERS FOR STF BASELINE SC CAVITIES

Eiji Kako^{1,A)}, Hitoshi Hayano^{A)}, Shuichi Noguchi^{A)}, Toshio Shishido^{A)}, Ken Watanabe^{B)}

^{A)} KEK, High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} The Graduate University for Advanced Studies

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

A high power input coupler, which is used for transferring rf power to a superconducting cavity, is designed for the STF baseline cavities. Fabrication of four input couplers was completed, and the rf measurements with low power were carried out. The input couplers were assembled with coupling waveguides and doorknob-type transitions, and they were installed in the high power rf system with a pulsed klystron. In the initial high power tests in a short pulse mode, rf processing up to 1.2 MW was successfully carried out for about 22 hours.

STFベースライン超伝導空洞用大電力高周波入力結合器

1. はじめに

STF (Superconducting RF Test Facility) の建設が現在KEKで進行中である[1]。8台の超伝導空洞を内蔵するクライオモジュールには、4台のベースライン超伝導空洞が組込まれ、各超伝導空洞には高周波入力結合器が取り付けられる[2, 3]。高周波入力結合器は、低温部同軸カップラー、室温部同軸カップラー、およびドアノブ型同軸導波管変換器からなっており、真空窓には、これまでの使用経験や実績のあるTRISTANタイプの同軸円板型セラミクス窓[4]が、低温部と室温部の両方に用いられている。入力結合器の製作完成後には、低電力による各構成部品の高周波特性の測定が行われ、大電力高周波源システムと接続する大電力試験用の装置が組み立てられた。初期の短パルスでのRFプロセスにおいて、1.2 MWまでの入射電力が約22時間で達成されており、最終的にはパルス幅1.5ミリ秒・5ヘルツで1.5 MWまでの大電力試験が行われる予定である。ここでは、高周波入力結合器の設計、製作、高周波測定、および大電力試験について報告される。

2. 入力結合器の設計

STFベースライン超伝導空洞に用いられる高周波入力結合器の基本仕様を表1に、その概念図を図1に示す。構造を簡略化しコストを低減するため、結合度は可変ではなく、固定である。低温部カップラーはクリーンルーム内で空洞に取り付けられ、空洞真空と同一環境となるため内面の清浄化が重要である。室温部カップラーは、クライオスタット外部より接続され、室温窓と低温窓の間の同軸部および

表1：高周波入力結合器の基本仕様

周波数	1.3 GHz
パルス運転	1.5 msec, 5 Hz
ビーム電流	10 mA
運転加速電界	31.5 MV/m
入力高周波電力	350 kW
外部Q値	2.0×10^6

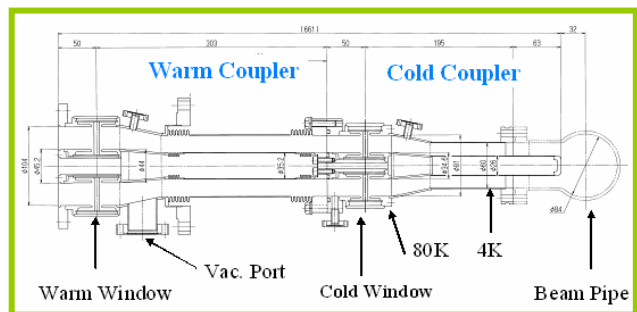


図1：高周波入力結合器の概念図

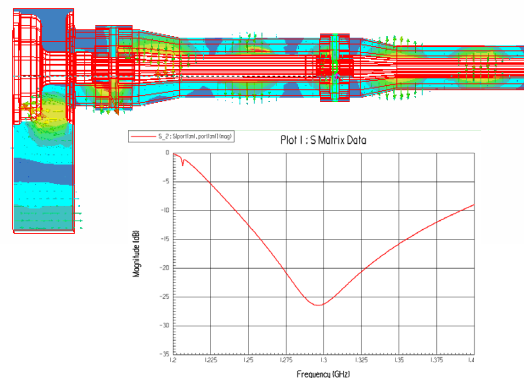


図2：HFSSによる電界強度分布および周波数特性の計算結果 (S11 = -26.2 dB at 1.3 GHz, $\epsilon^* = 9.2$)

¹ E-mail: eiji.kako@kek.jp

内導体の内部は、別系統で真空排気される。冷却時の熱収縮による変形応力に対して、室温部の内外導体の2箇所ベローが挿入され、緩和されている。計測用として、アークセンサーおよび放出電子検出プローブ用のポートが取り付けられている。チョーク構造をもつ高周波窓および各同軸部は、 50Ω で整合がとれるような形状寸法に最適化され、ドアノブ型同軸導波管変換器を含む高周波入力結合器全体での電界強度分布および周波数特性の計算結果が、図2に示されている。350 kW投入時には、最大電界強度として770 kV/mmが見積もられる。外部からの熱侵入を防ぐために、低温窓部を80 Kで、空洞ポートとの接続フランジ部を5 Kで冷却する。この熱侵入の計算結果を、表2に示す。1 mmのステンレスに5 μm の極薄銅メッキからなる低温部外導体から5 Kへの熱伝導負荷 (Static loss) が1.1 Wとなり、350 kW入力時の高周波損失 (Dynamic loss) 0.2 Wより大きくなっており改善の余地が残されている。入力結合器と空洞との結合度 (外部Q値) とアンテナの先端位置との関係の計算結果が、図3に示されている。この結果から、設定される外部Q値を得るためのアンテナ寸法が決定された。

表2：熱侵入の計算結果

	80 K	5 K	2 K
Static Loss [W]	5.0	1.1	0.05
Dynamic Loss [W]	3.0	0.2	0.03

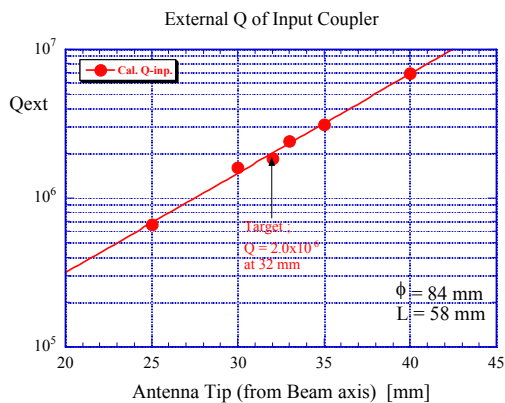


図3：ビーム軸からアンテナ先端までの距離と入力結合器の外部Q値との関係 (ビームパイプの直径 (ϕ) が84 mm、端セルのアイリスからアンテナの中心までの距離 (L) が58 mm)

3. 入力結合器の製作

室温部セラミクス (6.6 t、外径116 mm) および低温部セラミクス (6.2 t、外径92 mm) は、高純度アルミナ (HA95) より製作され、低温で使用されるため液体窒素による熱衝撃試験が数度繰り返された後、真空側となる表面に窒化チタン薄膜のコーティング処理が行われた。メタライズ

されているセラミクスの内径部および外径部は、銅製の内導体および外導体と水素炉でのロー付けにより接合された。ロー付け接合は、温度の異なる2段階によって行われ、製作が完了した低温部同軸カップラーおよび室温部同軸カップラーを図4に示す。2本の高周波入力結合器の大電力試験を行うための真空容器となる結合導波管 (図5、上) は、5 mmのステンレス板から作製され、その内表面には30ミクロンの銅メッキが施され、対向面はインジウムシールで接合される。WR650の導波管系に接続するドアノブ型同軸導波管変換器 (図5、下) は、アルミ製の導波管の内側に、1 mmの銅板からスピニングで成型されたドアノブが固定されている。同軸部内外導体間には、セラミクスの真空破壊への安全対策として、テフロン製のバックアップリングが挿入されている。



図4：低温部同軸カップラー (上) および室温部同軸カップラー (下) からなる高周波入力結合器

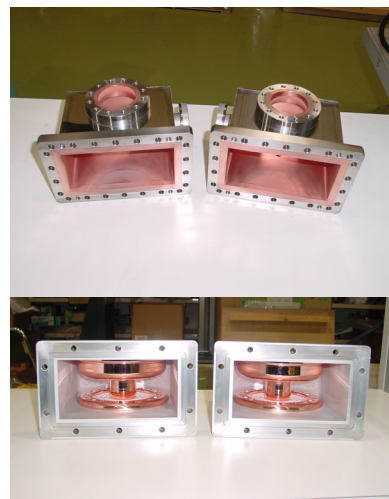


図5：大電力試験時の真空容器となる結合導波管 (上) およびドアノブ型同軸導波管変換器 (下)

4. 入力結合器の高周波測定

作製された高周波入力結合器の各構成部品は、単体での高周波特性の測定が行われ、設計時の計算結果との比較確認が行われた。特に、ドアノブ型同軸導波管変換器については、図6に示すように短絡板位置を可変にして高周波特性を測定し、最適な位置に調整を行った後、溶接により固定された。

高周波入力結合器は、図7に示すように大電力試験用の装置に組み立てられ、最終的に全体システムとしての周波数特性の測定が行われ、1.3 GHzでの運転時には、反射電力が入射電力の1%程度になることが確認された。

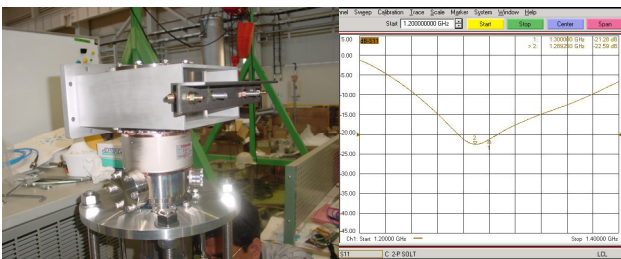


図6：ドアノブの短絡板の位置調整による周波数特性の測定、(S11=-21.3 dB at 1.3 GHz)

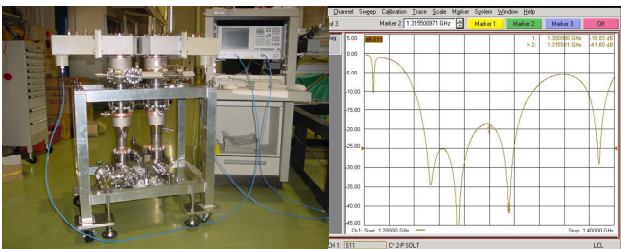


図7：入力結合器の大電力試験装置組み立て時における周波数特性の測定、(S11=-18.8 dB at 1.3 GHz)

5. 入力結合器の大電力試験

高周波入力結合器の各構成部品は、超純水による洗浄、乾燥、組立ての各工程をクリーンルーム内で行った後、図8に示される大電力高周波源システムに設置された。2台の低温部カップラーと結合導波管を含む系統と2台の室温部カップラーを接続した系統は、それぞれターボ分子ポンプからなる2台の真空排気ユニットに接続された。内導体内部は、真空排気後バルブにて封じ切られた。100℃でのベーキング後には、 10^{-5} Pa以下の到達真空度となった。最初の大電力試験は、パルス幅0.1ミリ秒で1ヘルツのパルス運転で行われ、真空度の悪化が、低温部では60 kWから、室温部では80 kWから観測され、また同時に放出電子も検出された。大電力試験におけるRFプロセスの様子を図9に示す。真空度の変化や放出電子の電流値をモニターしながら、徐々に高周波電力を増加しRFプロセスが続けられた。真空度のインターロックレベルとして、 6×10^{-4} Paが設定された。入射電力が300 kWまで約12時間かかり、その後さらに約10時間かけて1.2 MWまでのプロセスが行われた。引

き続き、繰り返しを5ヘルツに上げて行われたが、この時大きな真空度の悪化はみられず、約6時間1.2 MWに保持された。今後、さらにデューティーを増加し、パルス幅1.5ミリ秒・5ヘルツで1.5 MWまでの大電力試験が行われる予定である。

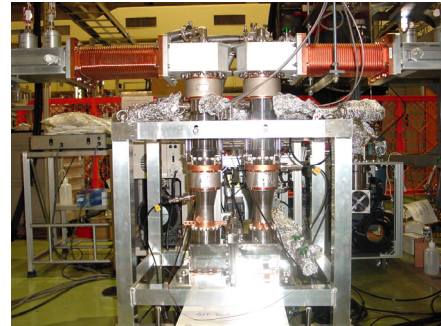


図8：高周波入力結合器の大電力試験装置

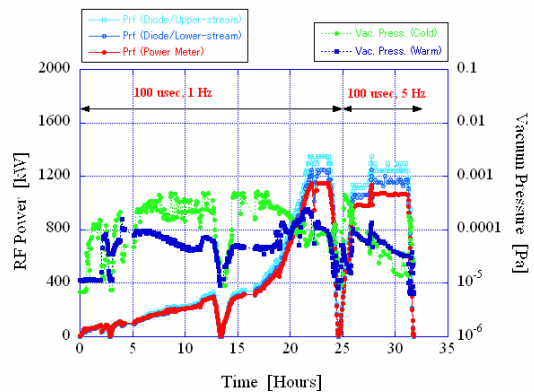


図9：大電力試験における入射高周波電力と真空度の変化（パルス幅0.1ミリ秒で1ヘルツおよび5ヘルツでの繰り返し運転によるRFプロセス）

6. まとめ

STFベースライン超伝導空洞4台を組み込んだクライオモジュールのパルス運転で使用される4台の高周波入力結合器が設計・製作された。高周波入力結合器の大電力試験が行われ、短パルスではあるが問題なく1.2 MWまでの入射電力を達成した。

参考文献

- [1] H. Hayano, "Status of STF for ILC", in this meeting.
- [2] S. Noguchi, et al, "Development of STF Baseline Superconducting Cavity System", Proc. of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tosu Japan (2005) p194.
- [3] S. Noguchi, et al, "Development of STF Baseline SC Cavity System", in this meeting.
- [4] E. Kako, et al, "High Power Tests of the Input Couplers for the J-PARC Superconducting Cavities", Proc. of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, Japan (2003) p324.