

CRYMODULE TESTS OF TESLA-LIKE SUPERCONDUCTING CAVITIES IN S1-GLOBAL

Eiji Kako[#], Hitoshi Hayano, Yuuji Kojima, Hiroataka Nakai, Shuichi Noguchi, Norihito Ohuchi,
Masato Satoh, Toshio Shishido, Ken Watanabe, Yashuchika Yamamoto
KEK, High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

S1-Global project for ILC is an international collaboration for cryomodule tests including eight 9-cell superconducting cavities delivered from DESY, FNAL and KEK. One of two 6-m cryomodules, Cryomodule-A, contains four Tesla-like cavities equipped with a slide-jack tuner system and an STF-II input coupler. Construction of the S1-Global cryomodule was started in January, 2010, and the cryomodule was installed in the STF tunnel in May. Low power rf tests of the Tesla-like cavities in the first cool-down of the cryomodule were successfully carried out in June-July, 2010.

S1-Global における TESLA 改良型超伝導空洞のクライオモジュール試験

1. はじめに

S1-Globa1計画は、国際リニアコライダー (ILC, International Linear Collider) の超伝導主線形加速器に用いられるクライオモジュールの実証試験を目的とする。ここで、S0は空洞単体試験、S1はクライオモジュール試験、S2は加速器ユニットでのビーム試験を意味する。S1-Globa1用クライオモジュールには、DESY(ドイツ)から提供された2空洞、FNAL(アメリカ)からの2空洞、KEKの4空洞の総計8台の超伝導空洞が組込まれ、ILCでの設計運転値である31.5 MV/mを平均加速電界として安定なパルス運転を実証することが第1の目標である。また、設計の異なる周波数チューナーおよびインプットカップラーを装着した超伝導空洞パッケージの性能比較も重要な試験項目となる。S1-Globa1用クライオモジュールの建設は、2010年1月より国際協力によりKEKで行なわれ、超伝導空洞の4連化、コールドマスの組立て、STFトンネルへの設置、冷却配管の接続などを経て、5月末に完成した[1]。現在、その冷却試験が進行中である。

2. TESLA 改良型超伝導空洞

KEKでは高電界パルス運転時の電磁界応力によるセル変形を抑制するために、DESYで開発されたTESLA空洞に剛性を強める改良などを加えたTESLA改良型空洞を開発した[2]。空洞製造後には、空洞単体での高電界性能の確認試験が行われ、図1に4空洞の最終性能測定の結果を示す[3]。製作された5空洞について、18回の性能測定が繰り返行なわれ、性能の良い4空洞がS1-Globa1用として選択された。最も空洞性能の良い1空洞に

ついては33 MV/mを達成しているが、ほかの3空洞はほぼ27 MV/mで最大加速電界が制限されており、電界放出電子によるQ₀値の低下も高電界で見られる。4空洞で達成された最大加速電界の平均値としては約29 MV/mとなる。S1-Globa1クライオモジュールに組込まれるヘリウム槽ジャケットを装着したチューナーの取付け位置の異なる4台のKEK空洞を図2に示す。

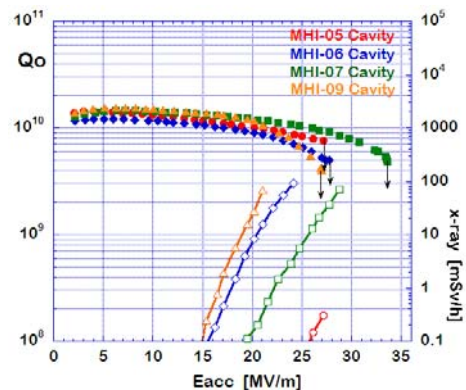


図1 : S1-Global 用KEK空洞の最終高電界性能

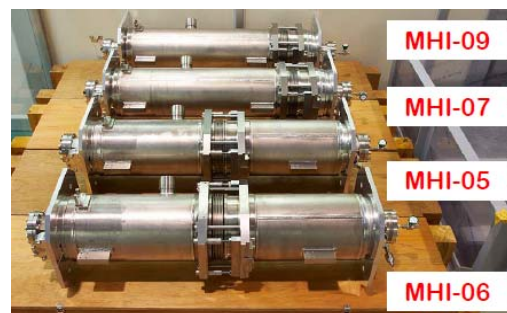


図2 : ヘリウム槽ジャケットを装着した4空洞

[#] eiji.kako@kek.jp

3. インพุットカップラー

内導体先端のアンテナ部分にベローを取付けて、空洞との結合度を可変にする機能を有する STF-II 型インพุットカップラーを図 3 に示す。STF-I 型カップラーで問題となっていた低温部高周波窓での熱歪みによる真空リークについては、内導体側のセラミックスと薄肉銅パイプとのロー付接合部での構造改善を実施した[4]。クリーンルーム内での十分な洗浄および組立てを行った後、図 4 に示すインพุットカップラー用大電力試験システムに設置し、5 マイクロ秒の短パルスで 1.5 MW、さらに 1.5 ミリ秒の長パルスで 750 kW までのエージングが、繰返し 5 Hz で行なわれた。



図 3 : STF-II 型インพุットカップラー

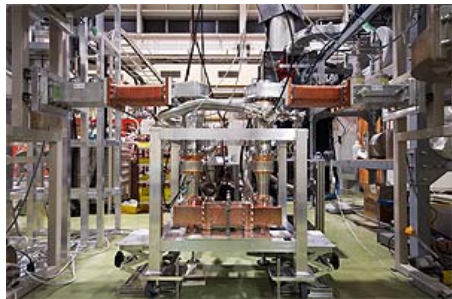


図 4 : インพุットカップラー用大電力試験装置

4. クライオモジュールの組立て

チタン製ヘリウム槽ジャケットを装着した空洞の外表面は、超純水による十分な清浄化が行なわれた。その後、4 空洞はクリーンルーム内へ搬入され、組立て架台の上に設置された。2010 年 2 月中旬から開始されたクラス 10 のクリーンルーム内での空洞の 4 連化組立て作業の様子を図 5 に示す。低温部カップラーの空洞への取付け、2 空洞間ベローの接続、端部空洞へのゲート弁の取付けなどの作業が行なわれた。クリーンルーム内で 4 連化された空洞は、レール上を移動してクリーンルーム外の周波数チューナー取付けエリアに設置された。空洞には、図 6 に示すピエゾ素子を組み込んだスライドジャッキ型チューナーが取付けられた。チューナーには、設置位置の異なる 2 タイプがあり、2 空洞は中央部に、2 空洞は端部に取付けられる。



図 5 : TESLA 改良型空洞の 4 連化組立て



図 6 : スライドジャッキ型チューナーの取付け

5. インพุットカップラーの組立て

低温部と室温部の 2 重の高周波窓を有するインพุットカップラーが用いられ、低温部カップラーは空洞を清浄環境下で真空封止するためにクラス 10 クリーンルーム内にてすでに取り付けられており、トンネル内では低温部カップラーへの室温部カップラーの接続および導波管変換器の取り付けが行なわれた。空洞への室温部カップラーの取付け作業の様子を図 7 に示す。カップラー取付けを清浄環境下で行なうために、簡易型クリーンブースを設置し、クリーンウェアを着て作業が行なわれた。



図 7 : STF-II 型カップラー室温部の取付け

6. 低電力高周波試験

S T Fトンネル内にて設置され、完成したクライオモジュールを図8に示す。6月に開始されたクライオモジュールの第1回冷却試験では、おもに低電力での高周波試験が行われ、下に示す項目が実施された。

1. インพุットカップラーの結合度可変範囲の測定 (図9)。
2. 粗調整用モーターチューナーの周波数可変範囲、ヒステリシス特性の測定 (図10)。
3. 微調整用ピエゾチューナーの周波数可変範囲、ヒステリシス特性、周波数調整の再現性、パルス応答特性の測定 (図11)。
4. モニターカップラーの結合度の較正。
5. HOMカップラーの加速モードのフィルター特性の測定。
6. HOMカップラーの外部Q値の測定。
7. 機械振動モードの測定。
8. ピエゾチューナー駆動時の2空洞間での機械振動モードの伝播特性の測定。

粗調整用チューナーでは、図10に示されるように1空洞 (A4) において動作不能が確認された。また、ピエゾチューナーのパルス応答特性からは、同種のピエゾ素子を使用しているにもかかわらず、周波数変化の特性が異なっていることが分かった。



図8：S T Fトンネル内にて完成したクライオモジュールと高周波電力分配システム

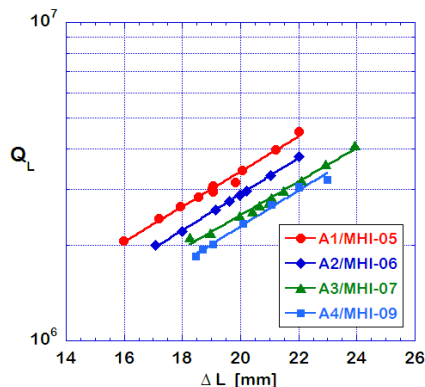


図9：インพุットカップラーの可変結合度特性

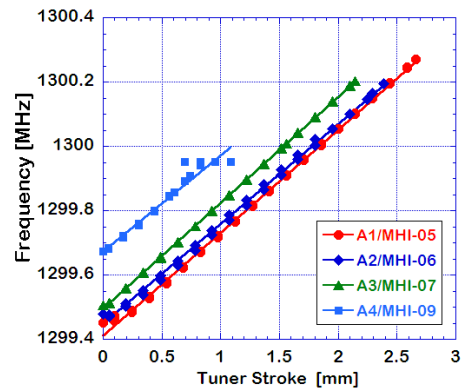


図10：粗調整用チューナーの動作特性

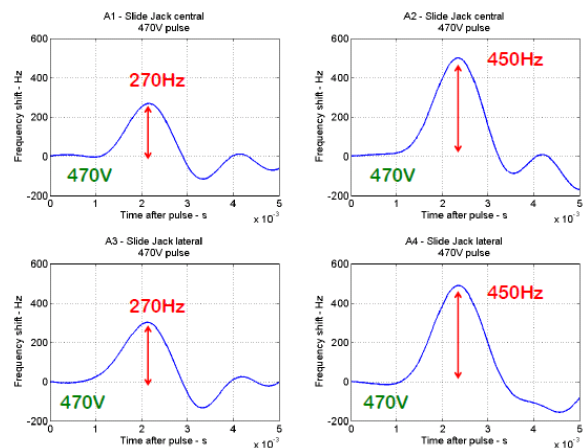


図11：ピエゾチューナーのパルス応答特性

7. まとめと今後の予定

2010年1月より開始したS1-Globalクライオモジュールの組立て作業は順調に進められ、5月末までにトンネル内作業を含めて全工程を完了した。6～7月の第1回冷却試験では、低電力での高周波試験が行われ、チューナーの動作特性などが調べられた。今後、9～12月に予定されている第2回冷却時では、おもに大電力での高周波試験が行われる。

参考文献

- [1] N. Ohuchi, et al., "Construction of the S1-Global Cryomodule for ILC", IPAC10, Kyoto, Japan (2010) WEPE008.
- [2] E. Kako, et al., "Cryomodule tests of four Tesla like cavities in the Superconducting RF Test Facility at KEK", PRST-AB, Vol. 13, 041002 (2010).
- [3] 山本康史、他、「国際リニアコライダー計画のための超伝導加速空洞のS T Fにおける性能試験の最新結果」、第7回加速器学会プロシーディング、姫路市 (2010) WELH01.
- [4] 佐藤昌史、他、「S T F超伝導空洞用入力結合器の高周波窓の熱サイクル試験」、第7回加速器学会プロシーディング、姫路市 (2010) THPS029.