

ACTIVITIES FOR ILC R&D AT HITACHI

Tomoyuki Semba ^{#A)}, Takamichi Watanuki^{A)}, Shuichi Taniyama^{A)}, Mamoru Watanabe^{A)}, Kazuhiro Takeuchi^{A)},
Yutaka Itou^{A)}, Yukiko Tsujioka^{B)}, Michiaki Yamamuro^{B)}, Takabumi Yoshinari^{C)}

^{A)} Hitachi, Ltd. Hitachi Works, Hitachi-shi, Ibaraki-ken, 317-8511

^{B)} Hitachi, Ltd. Industrial Systems, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-8608

^{C)} Hitachi, Ltd. Nuclear Systems Division, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-8608

Abstract

We participated in the construction of STF (Superconducting RF Test Facility) cryomodules at KEK, which aims for versatile development for the future ILC (International Linear Collider). The cryostats were subjected to several performance tests and found to be reliable for this study. We also began to develop superconducting cavities for STF, and we completed our first 9-cell cavity in April 2010, successfully. This paper describes our recent activities for the ILC.

日立製作所における ILC に向けた R&D への取組み

1. はじめに

国際リニアコライダー(ILC)など将来の先端加速器に向けた研究開発の一環として、高エネルギー加速器研究機構(KEK)では超伝導 RF 試験設備 STF の建設・整備が 2005 年度より進められている。^[1] 日立製作所は KEK の指導の下、これに関連した各種 R&D に取り組んでいる。2005 年度より超伝導空洞試験装置 STF Phase-1 のクライオスタット各機器の製作ならびに STF 棟での全体組立を行った。^{[2][3]} これは独 DESY の TESLA-TTF-typeIII^[4] の設計をベースとした約 6m 長さのクライオスタット 2 台で、KEK の Baseline 空洞と LL (Low-Loss) 空洞各々の各種評価試験に供せられた。また 2009 年度には国際協力として進められている試験設備 S1-Global クライオモジュールの組立にも協力した。一方で、1.3GHz 9 セル超伝導加速空洞の開発に着手し、2010 年 4 月に試作 1 号機を完成した。本報では一連の R&D への日立の取組みについて述べる。

2. STF クライオスタットの製作

2.1 全体構成

STF Phase-1 のクライオスタットの構造を図 1 に示す。Baseline 空洞と LL (Low-Loss) 空洞の 2 種類の空洞の性能試験を効率的に行うために、比較的短い 2 台のクライオスタットから構成され、いずれか一方での単独試験も可能な構造となっている。

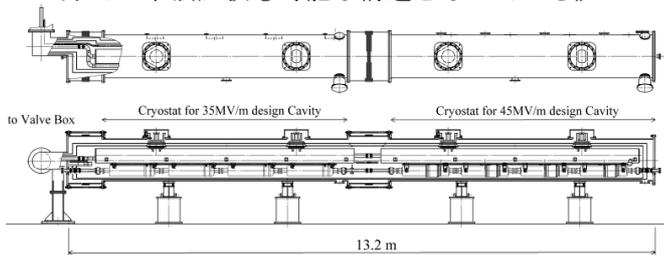


図 1 : STF Phase-1 クライオスタット構造

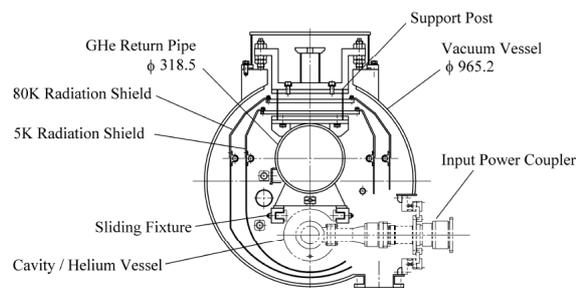


図 2 : STF Phase-1 クライオスタット断面 (Baseline 空洞用)

クライオスタットの断面構造を図 2 に示す。断熱真空容器、冷却配管、サポートポスト、熱輻射シールドの構造は TTF の設計を基本としている。空洞、インプットカプラー、チューナー、WPM(Wire Position Monitor)は KEK 独自の設計である。

2.2 機器仕様

クライオスタットの仕様を表 1 に示す。以下、各構成機器の仕様について述べる。

表 1 : STF Phase-1 クライオスタット仕様

Cryostat's length	5.6m, 5.9m
Cooling Method	Saturated Superfluid Helium
Cooling Temp.	2K
Vacuum Vessel	Carbon Steel Pipe
Helium Gas Return Pipe	SS316L Pipe
Radiation Shield	Aluminum Dual Shield (5K, 80K)
Support Post	GFRP cylinder with thermal anchoring
Cavity Units	35MV/m for Baseline Cavity 45MV/m for LL Cavity

2.2.1 断熱真空容器

断熱真空容器の外径は 965.2mm で、長さは Baseline 空洞用が 5.6m、LL 空洞用が 5.9m である。材質は地磁気遮蔽のために 12mm 厚の炭素鋼を用い

[#] tomoyuki.semba.au@hitachi.com

ている。これら 2 種類の断熱真空容器は KEK の地下トンネルに設置され各種試験に供された。

2.2.2 冷却配管

超伝導空洞を 2K の超流動ヘリウムで冷却するために、断熱真空容器内には各種の冷却配管が配置される。径 318.5mm の SUS316L 製 GRP(ガスヘリウム回収配管)が中央上部にあり、コールドマス全体を支える構造物も兼ねている。GRP は空洞の重量(1空洞当り約 100kg)をほぼ等分布荷重として支持する。強度解析の結果、荷重支持に伴う GRP の鉛直方向の撓み量は 0.05mm であった。これは空洞のビーム軸垂直方向の所要位置精度に比べて充分小さい。冷却配管としてこの他に、SUS316L 製ヘリウム配管およびアルミ製シールド冷却配管がある。空洞への予冷配管は、複数の空洞の冷却を均一に行うために口径と長さを調整した。

2.2.3 サポートポスト

GFRP 製円筒型の断熱支持サポートを用いている。これは TTF に設置されているものと同仕様で INFN 製である。同タイプのサポートポストが KEK でも製作されており今後使用される予定である。

2.2.4 熱輻射シールド

アルミ製の 5K および 80K 用の 2 重シールドである。STF Phase-1 では現地組立時の溶接作業を極力低減するため、冷却配管とシールド板とをボルト締結構造とした。構造改善は今後も検討していく。

2.3 組立

各機器の工場製作後、KEK の STF 棟で、全体組立を行った。各機器の外観および組立中の様子を図 3 に示す。(a)の左から断熱真空容器、シールド板、GRP、また(b)は断熱真空容器への挿入準備である。



(a)クライオスタット各機器 (b)組立状況
図 3: クライオスタット各機器と組立状況

断熱真空容器に挿入されるコールドマスは、専用の門型治具を用いて組立てた。まず治具に GRP を設置し、この段階でビーム軸方向に 2mm 以下、ビーム軸垂直方向に 0.1mm 以下の精度で位置決め・レベル出しを行う。その後、冷却配管類、空洞、計測素子等を取付ける。

組立てたコールドマスは、別の専用治具を用いて注意深く断熱真空容器内に挿入し、サポートポスト上部に固定金具を取付けて、クライオスタットの 1 台が完成する。その後 STF 棟地下のトンネルへ搬入し、設置とアラインメントが行われた。内部機器

組立として冷媒配管接続、計測線処置、シールド板取付を行い、並行して KEK によりビームパイプ、WPM 配管とワイヤー、常温カプラー等が設置された。トンネル内への搬入の様子および設置後の状況を図 4 に示す。

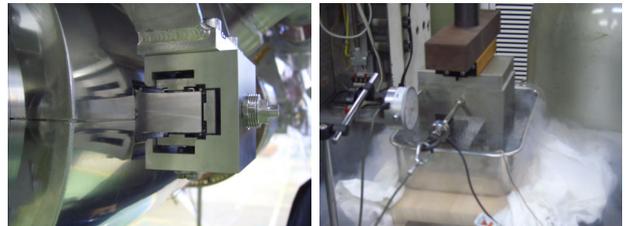


(a)地下トンネルへの搬入 (b)設置状況
図 4: クライオスタットの搬入と設置の状況

3. 各種評価試験

3.1 スライド機構の評価試験

GRP に取り付けられた空洞支持部は空洞のアライメントに重要な部分である。ここに用いるスライド機構の性能を低温での摺動試験で評価した。液体窒素中での荷重試験の結果、動摩擦係数は 0.01-0.02 であり、空洞位置決めのために十分な低い値を得た。スライド機構と試験の様子を図 4 に示す。



(a)空洞支持部のスライド機構 (b)荷重試験状況
図 4: 空洞支持部スライド機構と試験状況

3.2 サポートポスト評価試験

コールドマスを機械的に支持するサポートポストの性能を荷重試験により評価した。垂直荷重および水平荷重を印加して歪と変位を測定した。試験結果から算出したヤング率 20GPa は、GFRP の典型的な値とよく一致した。強度についても支持荷重の 2 倍の荷重を鉛直方向および水平方向に印加したところ弾性範囲内にあり、健全であった。荷重試験の様子を図 5 に示す。

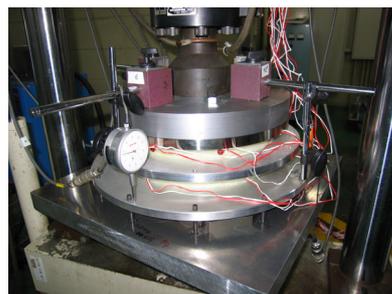
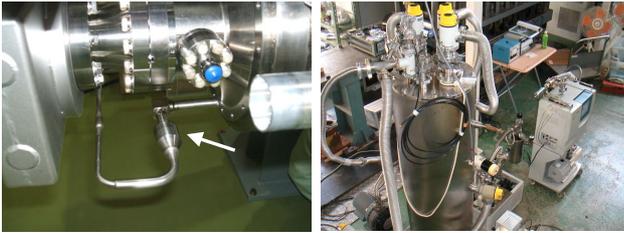


図 5: サポートポストの荷重試験状況

3.3 異材継手評価試験

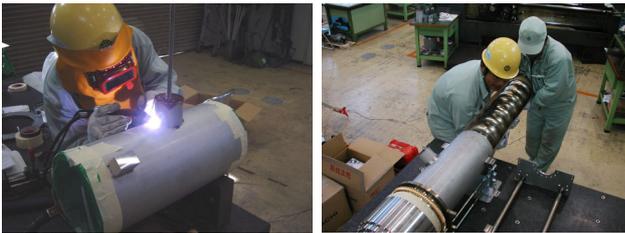
超伝導空洞と冷媒配管の接続部には異材継手が必要となる。STF Phase-1 では HIP 接合異材継手を採用し、耐リーク性能と機械強度を評価した。試験の結果、超流動ヘリウム中でのリーク性能は問題ないが機械強度については、シャルピー衝撃値の向上が望まれるという結果を得た。他の接合方法の継手も検討中である。異材継手の写真を図 6 に示す。



(a)異材継手設置状況 (b)超流動 He でのリーク試験
図 6：異材継手外観と試験状況

4. LL 空洞ユニット組立

KEK で開発された LL 空洞のジャケット・チューナの組立に協力した。組立状況を図 7 に示す。



(a)ポート溶接 (b)ジャケットへの空洞挿入
図 7：SUS 製ジャケットの組立状況

5. 冷却システムとの接続

STF Phase-1 用に KEK と複数社の協力により開発された試験用 2K 超流動ヘリウム供給システム^[5]へ、クライオスタットを接続した。クライオスタットおよび空洞を順次交換しながら各種性能試験が実施された。Baseline 空洞 4 体接続時の冷却システムを図 8 に示す。

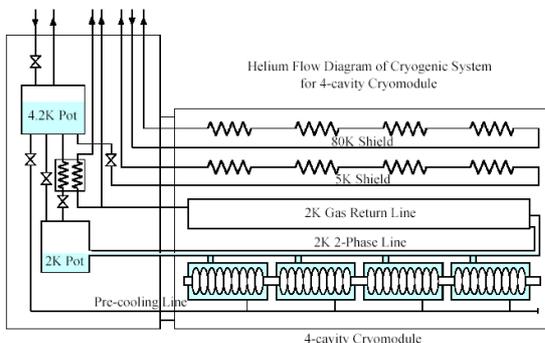


図 8：STF-PhaseI の冷却系統図(空洞 4 体時)

6. S1-Global クライオモジュール組立

国際協力により各国の空洞合計 8 体とクライオス

タット 2 台を組み合わせるといふ S1-Global 計画が KEK により進められ^[6]、この組立に協力した。この主要な目的のひとつは、将来の ILC に向けて各機器の仕様を比較検討し Plug-compatible の考えを推し進めることである。工程の厳しい中、各機器取合の齟齬などから現物合わせの作業も多く発生したが、組立は成功裏に終了し 2010 年度より各種試験が開始されている。クライオモジュールの全体設計と各機器設計情報の共有が将来へ向けての重要課題である。

7. 1.3GHz 9 セル空洞の製作

2009 年より KEK との共同研究により空洞開発を開始した。基本形状は Baseline 空洞に準じ、HOM カプラーなしの仕様で試作 1 号機を製作、加速電界 35.2MV/m を達成した。^{[7][8]} 完成した空洞の外観を図 9 に示す。



図 9：1.3GHz 9 セル空洞試作 1 号機

8. まとめ

2005 年度より KEK で進められている STF 計画にクライオスタットの製作を主体として参加し、2009 年度より空洞開発にも着手した。ILC に向けて今後も着実に R&D を継続していく。

謝辞

本 R&D への取組みに際して終始厚くご指導をいただきました土屋清澄教授、山本明教授、STF グループ、機械工学センター、ILC 推進室、ほか関係各位に感謝いたします。

参考文献

- [1] STF Phase-1 Activity Report, KEK Report 2009-3.
- [2] K. Tsuchiya, et al., "Cryomodule Development for Superconducting RF Test Facility (STF) at KEK", EPAC'06, Edinburgh, pp.505-507.
- [3] T. Semba et al., "Manufacture and Assembly of the 6 Meter-Long Cryomodules for Superconducting RF Test Facility (STF) at KEK", PAC'07, Albuquerque, pp.2122-2124.
- [4] C. Pagani et al., "The TESLA Cryogenic Accelerator Modules", TESLA Report 2001-36.
- [5] J. Yoshida et al., "Development of STF Cryogenic System in KEK", PAC'07, Albuquerque, pp.2701-2703.
- [6] N. Ohuchi et al., "Construction of the S1-Global Cryomodules for ILC", IPAC'10, Kyoto, pp.3356-3358.
- [7] T. Watanuki et al., "日立製作所における 9 セル超伝導加速空洞の開発", THPS027, this conference.
- [8] Y. Yamamoto et al., "国際リニアコライダー計画のための超伝導加速空洞の STF における性能試験の最新結果", WELH01, this conference.