

## KEK-STF2 クライオモジュールのアライメント STATUS OF ALIGNMENT FOR STF2 CRYOMODULE

荒木 栄<sup>#A)</sup>, 加古 永治<sup>A)</sup>, 近藤 良也<sup>A)</sup>, 宍戸 壽郎<sup>A)</sup>, 原 和文<sup>A)</sup>,  
早野 仁司<sup>A)</sup>, 仲井 浩孝<sup>A)</sup>, 清水健一<sup>B)</sup>, 山内拓也<sup>C)</sup>  
Sakae Araki<sup>#A)</sup>, Eiji Kako<sup>A)</sup>, Yoshinari Kondo<sup>A)</sup>, Toshio Shishido<sup>A)</sup>, Kazufumi Hara<sup>A)</sup>,  
Hitoshi Hayano<sup>A)</sup>, Hirotaka Nakai<sup>A)</sup>, Shimizu Kenichi<sup>B)</sup>, Yamauchi Takuya<sup>C)</sup>

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

<sup>B)</sup> SK-service INC.

<sup>C)</sup> Kantou Information Service (KIS)

### Abstract

As the next STF2 plan, the two cryomodules are added into the Capture Cryomodule. Inside the cryomodule, eight 9-cell and four 9-cell superconducting cavities are assembled. When we install these superconducting cavities into the cryomodules, it is necessary to precisely alignment and measurement them. We report the alignment method of the superconducting cavity and the result.

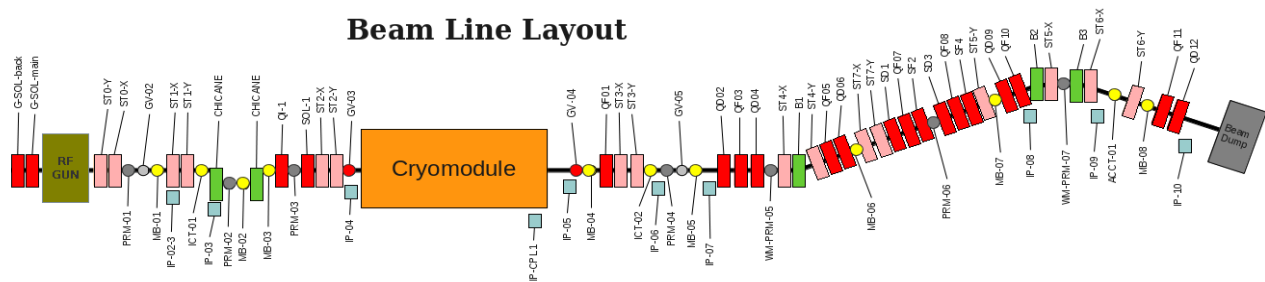
### 1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の超伝導リニアック試験施設 (STF) では、Capture Cryomodule (9セル空洞 2台) で加速された電子ビームとレーザー光の逆コンプトン散乱による高輝度光子ビーム生成 (量子ビーム実験) の試験運転が終了した。更なる、STF2 計画では超伝導加速空洞をクライオモジュール (CM1 および CM2a) 2台を追加する。クライオモジュール内には、それぞれ、ヘリウムジャケットを装着後、ILC 用9セル超伝導加速空洞 8台 +4台が納められて冷却される。そのため超伝導空洞の位置を外から直接測定する事は不可能である。ビームラインに設置するアライメントはクライオモジュール単位となり、個々の調整が不可能のため、組み込み時にクライオモジュール内部の超伝導加速空洞を精密に調整および測定する必要がある。2014年1月にCM1の設置し、同年5月にCM2aの設置を行った。超伝導加速空洞のアライメント方法と結果について報告する。

### 2. 量子ビーム実験

将来の小型光フラックス X線源用要素技術開発のために量子ビーム実験が行われた。STF (Superconducting RF Test Facility) の加速器トンネルへの建設は2011年から行われた。Lバンド・フォトカソード RF電子銃を上流 (図の左) に配置し、超伝導加速空洞 (以下、空洞という) のビーム加速に適した1msトレイン長の大電流、低エミッタンスビームを生成することができる。

そして、超低エミッタンスビームの加速に必要なパルス運転型の1.3GHz9セル超伝導加速空洞2台からなる Capture Cryomodule とレーザー蓄積器および収束用の電磁石で構成されている。配置図を Figure 1 に示す。加速された電子ビームは、くの字に曲がったビームラインに配置されたレーザーとの衝突点に収束される。2012年2月から電子ビーム発生を行う総合試験運転を開始した。



同年 8 月のビームライン・アライメント結果を Figure 2 の青印に示す。最上流にある電子銃の大型架台には各種の機器が取り付けられており調整が困難である。Capture Cryomodule の前後で高さ方向に段差がある事が分かる。その後、試験運転を行い、加速空洞に上下斜めに入射している事が電子ビーム軌道から判明した。更に段差を付けてステアリング電磁石で曲げ戻して加速空洞へ水平に入射するように同年 9 月に再調整を行った。約 1.6mm の段差を付けて図の赤印の様な結果になっている。電磁石は横方向、±0.2mm 程度に収まっている。

高さ方向段差の理由としては、Capture Cryomodule に組み込まれた 2 台の空洞自身の位置測定は、機械的中心を示す脱着式基準座ジグに再現性が足りず、モジュールへの組み込み時において、吊り下げ設置精度を計測する事が困難であった。そのため、設計寸法を基にモジュール上部の基準座を頼りにビームラインへ設置した為である。高さ方向で基準座は 0.65mm 高く設置されている。

その後、X 線生成試験は 2012 年年末より行われ、目標の X 線生成強度に到達しなかったが、248 パンチ/train のビームに対し、451 Photons/train の X 線量を検出し実験を終了した<sup>[1]</sup>。

### 3. STF2 計画

電子ビームのエネルギー増強するために、くの字ビームラインを解体し、レーザー蓄積器を撤去し、クライオモジュールを延長して、12 台の超伝導加速空洞を増設、約 400MeV の電子ビーム加速を行う計画である。

空洞は空洞単体性能試験で評価し調整を行う<sup>[2, 3]</sup>。その後空洞周りを磁気シールドと液体ヘリウムジャケットで覆い、空洞の順番を定めクリーンルーム内で 4 台ずつ連結化を行う<sup>[4]</sup>。空洞の内部はデリケートで異物が性能劣化に繋がるので、真空部品の組み立てや 4 連化などは、十分な洗浄とフランジ部締結はクリーン環境での作業を必要とする。各空洞はベローズで接続されており、若干の微調整は可能であるが、空洞と並列に液体ヘリウム配管などが取り付けられており、空洞のねじれ (Roll) 調整に対しては余裕がない。連結後クライオモジュールに組み込まれる。

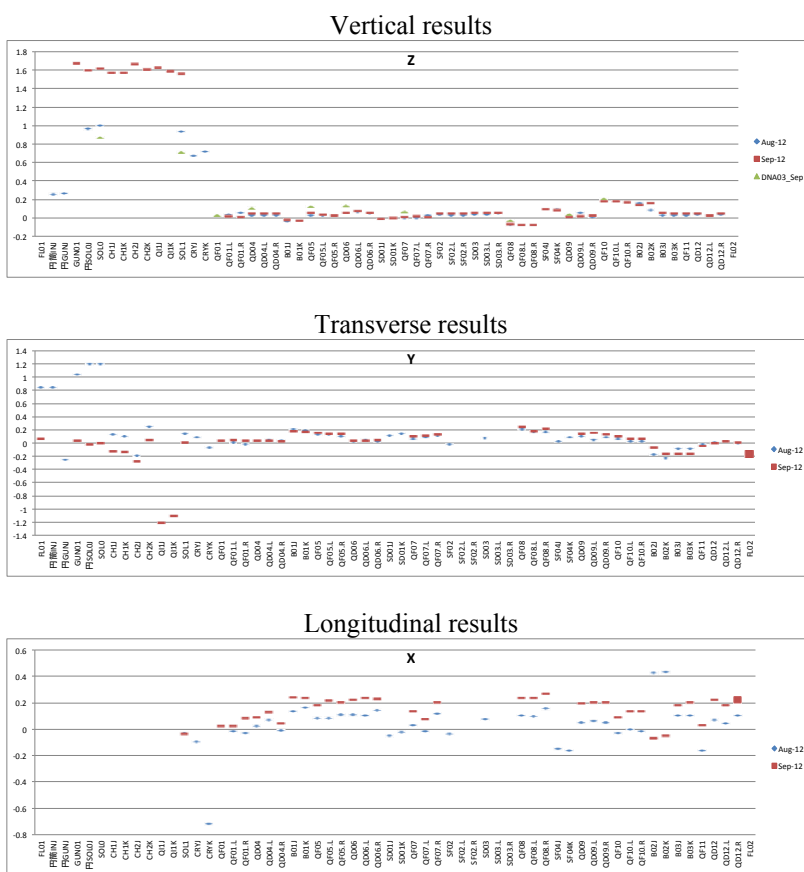


Figure 2: The result of STF alignment (Quantum beam project) Sep. 2012.

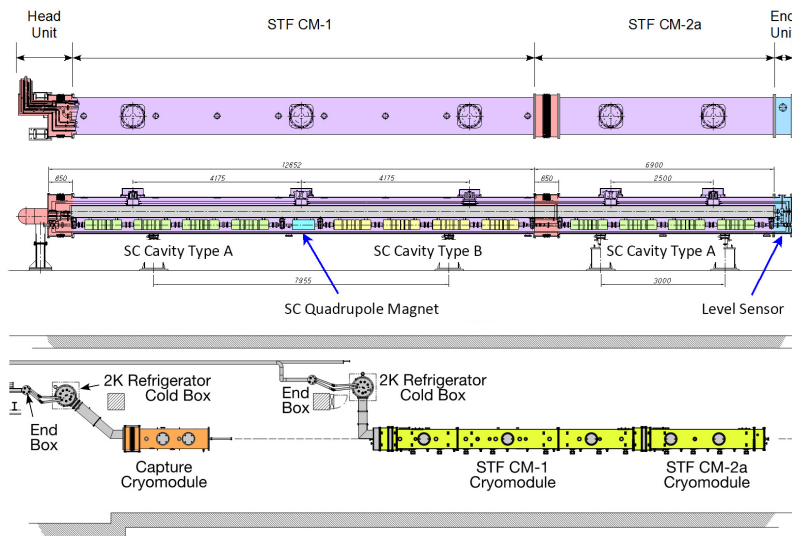


Figure 3: Top view layout of cryomodule for STF2.

4 連化を 2 つの 8 空洞分を前方の STF2-CM1 として最初に組み立て、次の連化した空洞 4 台分を、STF2-CM2a に組み込み、前後のモジュールを連結し一体化させて、合計 12 台の空洞を設置した<sup>[5]</sup>。(Figure 3)

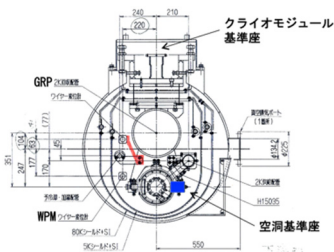


Figure 4: Cryomodule sectional view.

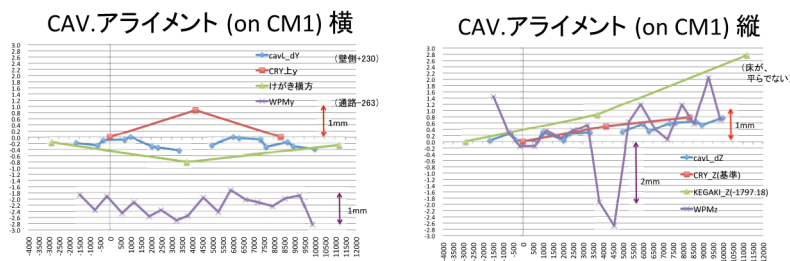


Figure 5: The survey of assembly of 8 cavities. (CM1)

#### 4. 空洞のモジュール組立

空洞のビーム方向、上流に向かって右（壁側）には、脱着式の空洞基準座がクリーンルーム内で取り付けられ、それらを用いて連結調整を行った。また、反対側の左（通路側）には、ワイヤーポジションモニターセンサー（WPM）を取り付けて、モジュール化してある状態で、空洞の位置の変位・変動を測定するセンサーが設置されている。この WPM の取り付け再現性は低いので、取り付け位置を測定して初期値を測定し、予備の基準点とする。

クリーンルームで連結行程を済ませた後、運搬レールを通して、一般区域に運び出す。レールは完全に水平にはなっていない。ベローズで完全固定ではないので、移動の際に変動して、運搬レールのねじれや傾きが生じている。

#### 5. STF2-CM1 モジュール

STF2-CM1 モジュール内はヘリウム回収配管（GRP）が 3 点支持（後のモジュールの基準となる）により吊り下げられ、更にその下に 8 連化した空洞などが吊り下げられる。モジュールの断面図を Figure 4 に示す。

そのため、3 点支持の姿勢を調整する事により GRP は調整出来るが、8 連空洞の個々の位置は固定され保持される。但し、ヘリウム冷却した際には、熱変形によりビーム方向に伸縮移動する機構になっている。GRP に吊り下げられた常温状態で空洞の位置を精密に測定しておく必要がある。空洞アライメントの許容値はクライオモジュールの基準軸に対し

て 0.3mm 以下のオフセット且つ 0.3mrad 以下の傾きで設置される事が定められている。

2013 年 9 月よりモジュール化を開始した。ぶら下げ時に於いて、空洞基準の光学的測量とレーザートロッカー測量とで同様の傾向がみられ、使い分けて効率よく作業を進める事が可能である。8 連化した空洞のアライメント結果を Figure 5 に示す。取り付け時の微調整が重要である。モジュールの基準座（赤印）は、横方向にへ字になっているが、両端を直線として空洞を吊り下げるので問題にはならない。空洞基準 16 点を青印（前後 2 点/空洞）、WPM18 点の位置を紫印で示す。Roll 方向の傾きは基準座の傾きで 0.1mrad 程度に抑えてある。組み立て時に於いては許容値の半分程度にアライメントが出来ている。

モジュール上部の基準座 3 点は、ビームラインに設置する際の証となるので、8 連化した空洞アライメントを直線 FIT が水平になるようにモジュール基準座のオフセットを定める。その値を基に 2014 年 1 月にビームラインに設置調整を行い、その結果を Figure 6 に示す。モジュール基準座の目標値（赤印）に対して、橙印がモジュール設置位置を示す。概ね良好な結果が得られた。

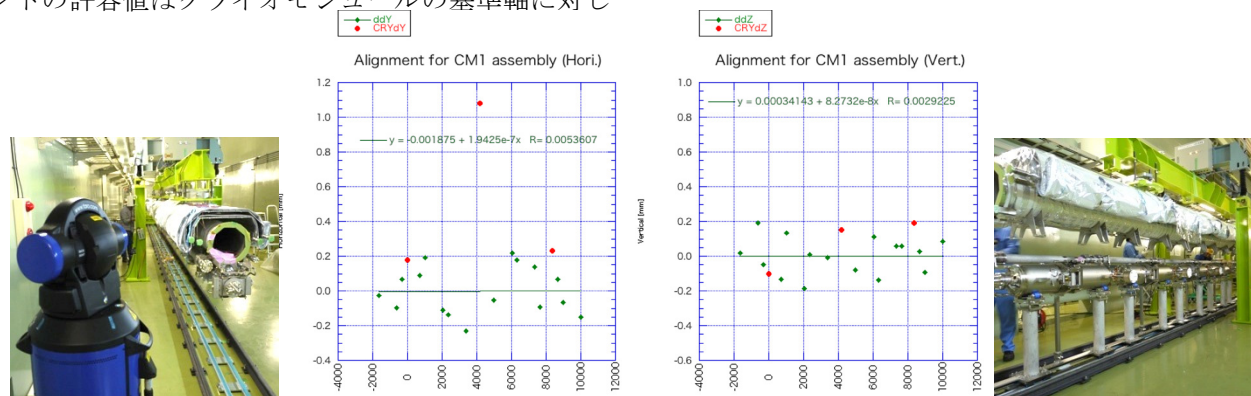


Figure 6: The result of alignment of 8 superconducting cavities for STF2-CM1.

## 6. STF2-CM2a モジュール

STF2-CM2a は、CM1 の半分の 4 連化のみでモジュール化を行う。空洞の吊り下げ作業は 2014 年 4 月より行われた。空洞 4 台のアライメント結果を Figure 7 に示す。モジュール基準座は 2 点 (赤印) となる。WPM も取り付け無いので、空洞基準 (緑印) のみである。空洞台数が少なく、作業効率も向上して、精度良く固定ができた。水平方向は 0.05mm に収まり、高さ方向は 0.1mm 程度である。モジュールの組み立て精度により、モジュール基準座に 1.1mm の高さオフセットが付いた。

## 7. ビームライン設置と今後の予定

本年 5 月に CM2a を地下トンネルのビームラインに設置しアライメントを行った (Figure 8)。その後、CM1 と CM2a は冷却配管など連結作業を行い、クライオモスタットを完成させた。引き続き、空洞冷却試験、高周波試験の準備を進めている。また、次年度に RF 大電力試験およびビーム運転が予定されており、それらに併せてビームライン上流からつなぎ、全体の精密アライメントを行う予定である。空洞の設置誤差の評価はビーム運転を行い解析してみないと不明な点も多い。引き続き、組み立て手順の確認、空洞の多連化アライメント方法の検討を続ける。

## 謝辞

本研究を支援して頂きました生出施設長、山口主幹、山本 ILC 推進施設長に感謝致します。また、測定機材を融通し貸し出して頂いた加速器研究施設の柿原様のご協力に感謝致します。

最後に、STF 棟で各種制作や組み立て作業をして頂いた三菱重工 (株) および、ケーバック (株) の皆様には惜しみないご協力を得ましたので、ここに深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] H. Shimizu, et al., "X-ray Generation by Inverse Compton Scattering at the Superconducting RF Test Facility", submitted Nuclear Instrument and Methods in Physics Research Section A.
- [2] M. Asano, et al., "Inspection of inner surface in 9-cell SC cavities for STF2-CM2a cryomodule", 本学会.
- [3] H. Hara et al., "Superconducting Cavities R&D for ILC atMHI", 本学会.
- [4] T. Okada, et al., "String Assembly of 9-cell SC cavities for STF2 CM1 and CM2a Cryomodules", 本学会.
- [5] T. Shishido, et al., "STATUS OF THE CRYOMODULE CONSISTING OF 1.3 GHZ 9-CELL SUPERCONDUCTIVE CAVITIES FOR STF-PHASE 2", 本学会.

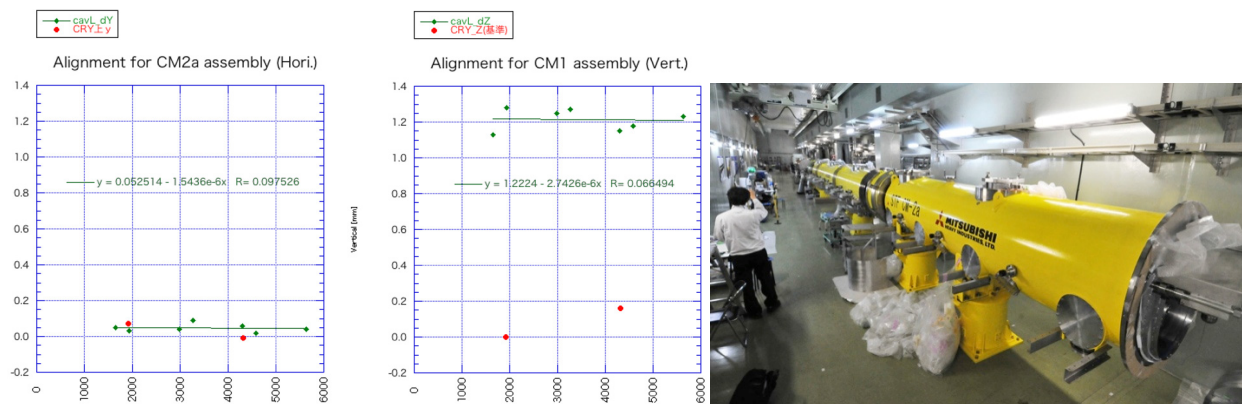


Figure 7: The result of alignment of 4 superconducting cavities for STF2-CM2a.

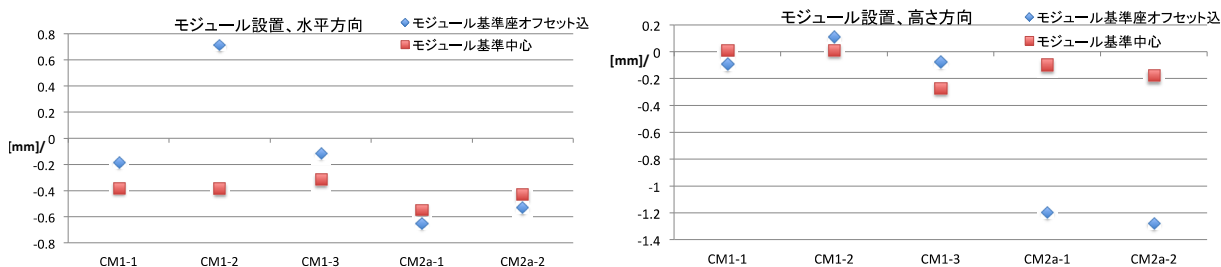


Figure 8: The result of the alignment installed in the beam line of STF2. Blue points are cryomodule reference point survey values. Red points about the value that pulled offset show the cryomodule center.