

Measurement of the cavity displacement at the time of cooling of cERL main module.

Kenji Shinoe^{1,A)}, Hiroshi Sakai^{A)}, Kensei Umemori^{A)}, Kazuhiro Enami^{A)}, Masato Sato^{A)}, Takaaki Furuya^{A)}
Masaru Sawamura^{B)}, Enrico Cenni^{C)}

^{A)} KEK, High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801

^{B)} Japan Atomic Energy Agency (JAEA)
2-4 Shirane Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195

^{C)} The Graduate University for Advanced Studies
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801

Abstract

A main linac cryomodule have been constructed for Compact ERL project. The cryomodule was successfully cooled down to 2K. Then we used the optical target and measured displacement. Measured value showed the suitable value suitable for a temperature change. We calculated displacement of the center position of a cavity from measured value. The value was filling the performance which we are demanding.

cERL 主空洞冷却モジュールにおける冷却時の空洞位置変位測定

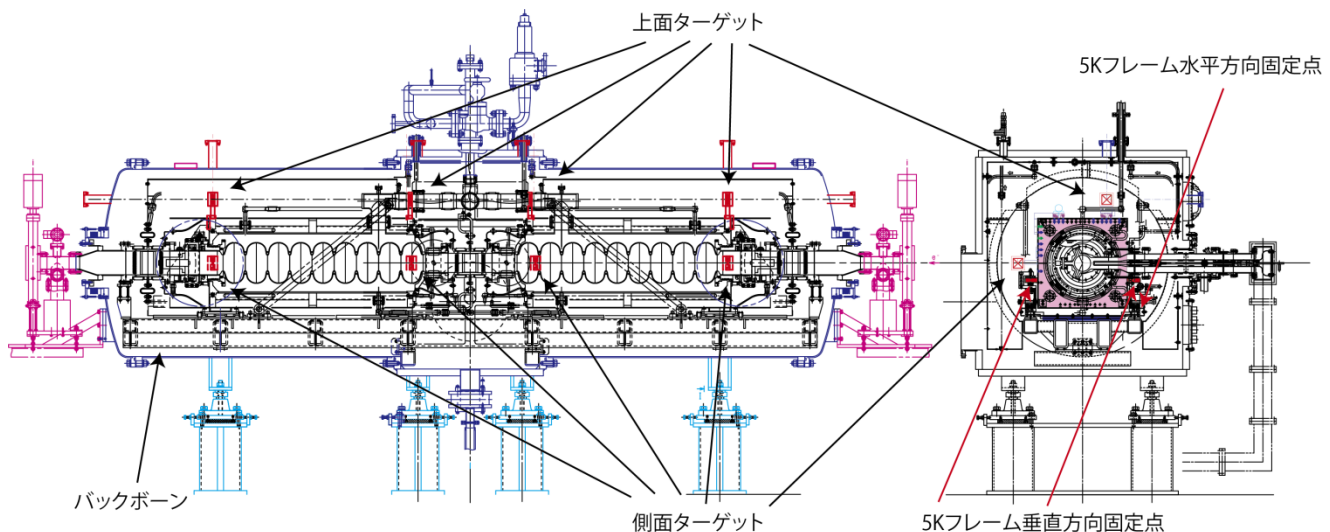
1. はじめに

現在 KEK では、ERL 開発棟（旧東カウンターホール）で、Compact ERL (cERL)^[1,2]の建設が進められている。2012 年 11 月までにメインライナック冷却モジュールの組立て、及び設置作業が完了し、2012 年 11 月から 12 月にかけて冷却試験、12 月にメインライナック単体による低温大電力試験が実施された。

本報告では、冷却試験時において、主空洞冷却モジュール内部に、格納設置された空洞、その他機材の熱収縮による、空洞位置変位測定を行い、空洞中心の変位による誤差を評価したので報告する。

2. 主加速部超伝導空洞クライオモジュール

図 1 に主加速部超伝導空洞のクライオモジュールの側面図及び正面図を示す。主空洞冷却モジュール内には 2 台の 9 セルキャビティが納められている。また、空洞の前後にビームパイプ型のフェライト HOM 吸収体が置かれ、有害な HOM に関しては、HOM 吸収体で吸収する[3]。空洞は、液体ヘリウムの配管の役目も果たす、5K フレームと呼ばれるチタン製のフレームに固定されており、このフレームに空洞が設置されると空洞中心とフレーム中心が一致するように設計製作されている。5K フレームにはその上部と側部に、空洞 1 台につき 2 台ずつの光



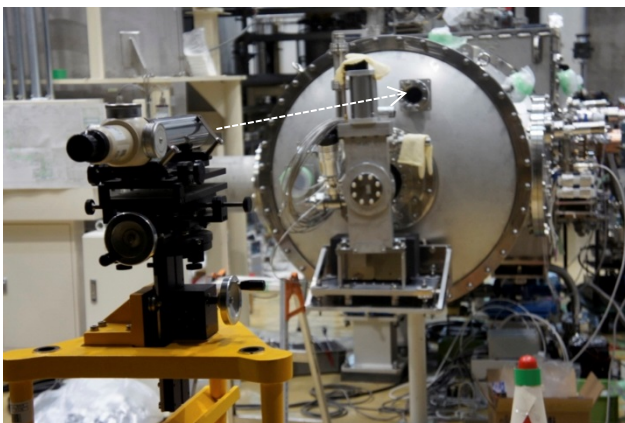
図・1 主空洞冷却モジュール側面図及び正面図。
光学ターゲットは、上部、側部、共に 4 台ずつ取り付けられている。

¹ Kenji.shinoe@kek.jp

学ターゲットが取り付けられており、このターゲットをモジュールの外側から計測することで、ターゲットの変位量を測定し、この値を空洞中心の変位に換算し評価した。空洞フレームは、G10製の取り付け治具を介して、バックボーンと呼ばれる、空洞アライメントの基準になる剛性の高いフレームに取り付けられている。5Kフレームの固定点を図1に示す。

3. 空洞位置変位測定

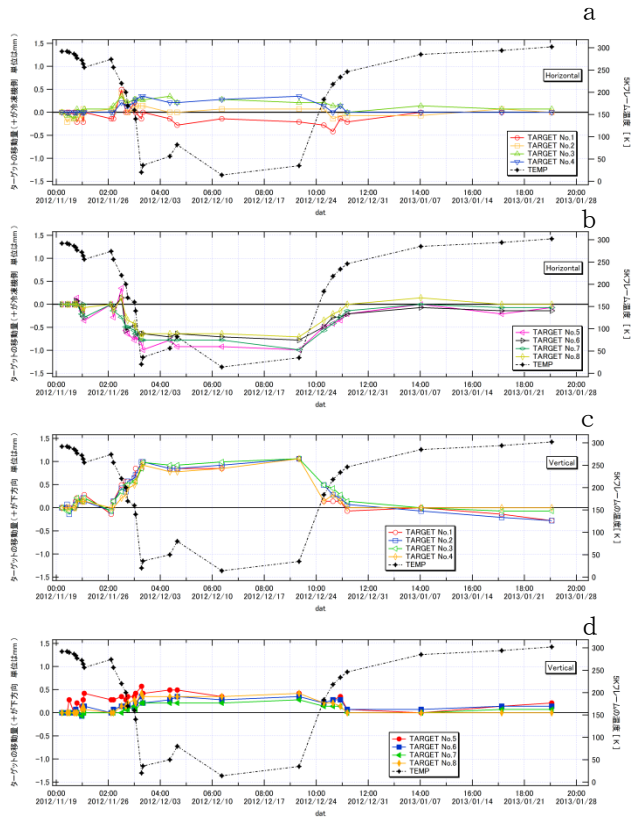
5Kフレームに取り付けられる光学ターゲットは上部、側部とも、それぞれの中心が1直線になるように設計製作されている。また、モジュールに納める前に、それぞれが1直線上に並んでいることの確認がレーザートラッカーを用いて取られている。モジュール内に納められた後に、それぞれのターゲット中心の延長線にアライメントテレスコープを置き、4箇所のターゲット中心を繋いだ直線と、アライメントテレスコープの中心軸が一致していることを確認した後、冷却モジュール断熱真空槽上下流に取り付けられた真空用窓に、中心を写す。真空窓には水平垂直方向に微調整機構を備えたターゲットを取り付けて、中心を写し易くしてある。中心を写した後は、ターゲットに取り付けられた微調機構をロックすることで、不用意なターゲットの移動を防いでいる。これら外部のターゲットは、常に室温であるので、内部ターゲットの中心を写しておけば、内部が冷却されて熱収縮によりターゲットの位置が移動した場合でも、外部の基準からその変位量を測定することが出来るようになる。なお、使用したアライメントテレスコープはテーラーホブソン社の物を用いた。このスコープは、スコープ内にクロスした2本の線が写され、この線はそれぞれ独立に、調整用つまみを回すことで動かすことができ、そのつまみには目盛りが表示してあるので、移動した



図・2 アライメントテレスコープと真空冷却モジュール

量をその目盛りで読むことができる。この機能を用いて、スコープ中心とターゲット中心のずれを読み取り、このずれを、室温からの位置の変位量として測定を行った。

4. ターゲット変位量測定結果



図・3 ターゲット変位量測定結果

5Kフレームに取り付けられた、ターゲットの変位量を測定した結果を図3に示す。この図のaは水平方向の変位を上部ターゲットで測定した結果、bが水平方向変位を側部ターゲットで測定、cが垂直方向変位を上部ターゲットで測定、dが垂直方向変位を側部ターゲットで測定した結果である。図の横軸は日付(時間)であり、縦軸はターゲットの移動距離をmmで表示している。水平方向の変位を測定したグラフでは、縦軸マイナスの方向が入力カプラーの方向であり、この方向に固定点がある。垂直方向の変位測定のグラフでは、縦軸プラスの方向が下側の向きであり、固定点は中央よりやや下側となっている。水平方向の変位では上部ターゲットではあまり反応がないようであるが、側部ターゲットでは5Kへの冷却に合わせてターゲットが入力カプラーのある方向に大きく移動している。垂直方向では側部ターゲットがあまり反応していない代わりに、上部ターゲットが5Kへの冷却に合わせてターゲットが下がる方向に大きく移動している。

これら測定によって得られた結果と、図 1 に示されている、ターゲットの位置と 5K フレームの固定点を検討してみると、上部ターゲットは水平方向固定点からの水平距離が短い。垂直方向でみれば、垂直方向固定点からの距離は長くなっている。温度変化に伴う収縮や膨張では、固定点からの距離が短ければその大きさは小さく、固定点からの距離が長くなればその大きさは大きくなる。また、これらの変化が温度変化の大きいところで顕著に起きていることを考慮すると、測定結果は、温度変化に合わせた収縮量が測定できているといえる。

次に上部、側部ターゲットが 5K フレーム冷却時にどの程度収縮するかを計算によって求めてみた。計算では 5K フレームやターゲットの材質、5K フレームとバックボーンとの、接続部の構造を考慮して求めた。

それぞれのターゲットについて、計算によって求められた変位量と、測定によって得られた変位量を表・1 に示す。

表・1 ターゲット変位量
計算値と測定値の比較

上部ターゲット	水平方向変位量	垂直方向変位量
計算値	0.23mm	1.10mm
測定値	0.2mm	0.9mm
側部ターゲット	水平方向変位量	垂直方向変位量
計算値	1.15mm	0.28mm
測定値	1.0mm	0.3mm

この表から、計算値と測定値はよく一致している。ターゲットの変位を求めたのと同じ手法で、今度は空洞中心についても同様の計算をした。その値は、水平方向に『0.37mm』、垂直方向に『0.26mm』の値が得られ、ターゲットについて計算値と測定値がよく一致していたので、空洞中心の変位量を計算で求めた結果は、実際の変位量と一致していると考えられる。

空洞に要求されている設置誤差の大きさは、±1mm 以内であり、この値をアライメントと冷却による変位とで半々に分けているので、冷却時における変位を±0.5mm 以内を目安にしており、ここで得られた値、水平方向 0.37mm、垂直方向 0.26mm は冷却モジュールに要求される要件を満たしているといえる。

5. まとめと今後

cERL 主加速部の cryomodule を建設し、2K までの冷却試験を行った。冷却時における空洞中心の変位量を、空洞 5K フレームに取り付けた光学ターゲットの変位量を測定することにより、ターゲットの変位と計算から求めた。得られた値、水平 0.37mm、垂直 0.26mm は、目標としていた変位量±0.5mm 以内に収まっており、要求を満たしている。

年末に cERL でのビーム試験を予定しており、その準備を行っている。

参考文献

- [1] R. Hajima *et al.* (ed.), KEK Report 2007-7/ JAEA-Research 2008-032 (2008) [in Japanese]
- [2] S. Sakanaka *et al.*, “Progress in Construction of the 35-MeV Compact Energy Recovery Linac at KEK”, in these proceedings, WEPWA015
- [3] M. Sawamura *et al.*, “Cooling properties of HOM absorber model for cERL in Japan”, SRF’2011, Chic ago, July, 2011, p.350(2011)