

CONSTRUCTION OF THE VERTICAL TEST SYSTEM FOR THE SUPERCONDUCTING CAVITY IN KEK-STF

Yasuchika Yamamoto^{1,A)}, Hitoshi Hayano^{A)}, Eiji Kako^{A)}, Shuichi Noguchi^{A)}, Masato Satoh^{A)}, Toshio Shishido^{A)},
Kensei Umemori^{A)}, Ken Watanabe^{A)}, Hiroshi Sakai^{B)}, Kenji Shinoe^{B)}, Masaru Sawamura^{C)}

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

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

^{B)} Institute for Solid State Physics, University of Tokyo

5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba, 277-8581

^{C)} Japan Atomic Energy Agency

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Ibaraki, 319-1195

Abstract

In KEK, the new Superconducting rf Test Facility(STF) is being constructed, including the electro-polish system (EP), the high pressure rinsing system (HPR), the clean-room, the refrigerator system, the high power rf source system, and the vertical test system. The cavity is generally measured in the vertical cryostat for the performance test. The new vertical test facility was constructed since the last year, and completed at the beginning of March. The first test was done for the total system check at the beginning of July.

KEK-STFにおける超伝導空洞性能試験(たて測定)設備の構築

1. はじめに

KEKの超伝導高周波試験設備(STF)では、国際リニアコライダー(ILC)やエネルギー回収型リニアック(ERL)などに用いられるLバンド(1.3GHz)の9セル超伝導空洞(図1)の開発・及び試験が行われている。超伝導空洞の性能試験を行う際は、一般に縦型のクライオスタットが用いられ、このことから性能試験のことは「縦測定」と呼ばれる。



図1: Lバンド(1.3GHz)の9セル超伝導空洞

昨年からSTFにおいて新たな縦測定設備の設計及び建設が進められ、この3月に完成した(図2)。ここには2台のクライオスタットが収められるようになっており、週単位で交互に縦測定が行えるよう計画されている。そして、出来るだけ少人数で測定が行えるよう随所に人手のかからない工夫が施されて

いる。たとえば、放射線シールドはスイッチで稼働するようになっておりクレーンが不要であるとか、排気系と微調の必要なバルブ類は一ヶ所に集めているため独りで作業が行えるといったことである。また、配線や配管類は床下を通らせているため地上はバリアフリーである。



図2: STFに完成した新縦測定設備

この新縦測定設備で7月頭に初めての測定が行われた。これは全システムのチェックを目的としたもので、性能試験とは異なる。使用された超伝導空洞は、STFにおけるEPシステムや縦測定システムの立ち上げに用いられるために、フェルミ研究所から送られてきたものである。試験は概ね成功し、この新

¹ E-mail: yasuchika.yamamoto@kek.jp

縦測定設備が使用可能な状態にあることが確認された。今後、ここではSTF Phase-2.0に向けて数10台に及ぶ空洞の性能試験が行われる予定である。

2. 新縦測定設備の建設

新縦測定設備はSTF棟内のクライストロンギャラリーの南の壁近くに建設された。測定に用いるクライオスタットは4m以上にもなるため床下にピットを作り、そこに2台のクライオスタットが収まるようにした。4mサイズのクライオスタットは特注品のため製造会社でも慎重に設計・製作が進められ、液体窒素による冷却試験を経た後、昨年末最初のクライオスタットが納品された(図3)。また、空洞を実際に挿入し寸法上問題がないことも確認した(図3)。



図3: 左はクライオスタットを入れるところで、右は空洞を入れるところ。

縦測定中は状況によって多量の放射線が出てくるため、天井(1階床)部分に厚さ16cmの鉄板を放射線シールドとして設置してある。鉄板の厚みに関しては、これまでの測定経験を踏まえた上で本機構内の放射線管理センターと相談した後、決定した。シールドは可動型と固定型の2種類からなり、お互いが中央で重なり合うように設置されている。モーター駆動による可動型の方は、クレーンを使うことなくスイッチのみで操作できるようになっており、少人数による測定を念頭においた設計となっている。

縦測定前後に行われる作業のために超伝導空洞を吊下げておくためのスタンドがピットの脇に建設された。ここには計4台の空洞が吊下げられるようになっている。スタンドの下の組み立てエリアは、クリーンな環境を維持するために周囲をビニルシートで覆い、エアフィルターで絶えず空気の清浄化に努めている。

測定室は2階建てで、2階に測定室が、1階は空洞のプリチューニングを行うための作業エリアになっている。ピットから測定室までの配線は地下を通るルートで導かれており、地上部のバリアフリーに努めている。ピットから信号線を取り出すためにピットの横壁に穴を開ける際も、放射線の漏れ出しを抑えるために穴のサイズと向きを考慮して行われた。1階の作業エリアもクリーンな環境を維持するため

にビニルシートで覆い、エアフィルターを導入している。

1回の測定は通常2日間に亘って行われ、およそ1,500ℓの液体ヘリウムを消費するが、蒸発したヘリウムガスを回収するための配管と排気系の設置も行われた。配管も地上部を通さずに地下を經由して排気系に繋がられた。排気系は、主にヘリウムを4.2Kの超伝導状態から2Kの超流動状態へ移行させる時に用いられ、4,000ℓ/分のロータリーポンプが2台と15,000ℓ/分のメカニカルブースターポンプが1台で構成されている。

3. 新空洞診断システムの構築

新縦測定設備の構築に伴い、空洞診断システムも一新することにした。従来のシステムでは、発熱箇所の特定制として空洞の各セルに90度毎に4つのカーボン抵抗が取り付けられているだけであったが、新システムでは抵抗体の数を500個にまで増設可能なような構造体とした。このシステムは、その形状が魚の骨に似ていることから“Fish-Bone”と呼ばれる(図4)^[1,2]。一昨年行われた4台の超伝導空洞の一連の性能試験では、従来のシステムでも発熱の有無は観測できたのだが、空洞の内面を観測する新しい装置が出来て、より局所的に発熱箇所を同定する必要が出てきたため、数量を増加することで対応するようにした。完成の際には発熱箇所を25mmx25mmの範囲まで絞り込むことが出来るようになる。これは内面検査システムで発熱箇所を調査する際に十分短い時間で行える広さである。今回のパイロットテストではシステムチェックの意味合いがあるため、数量は従来のものと同程度にした。

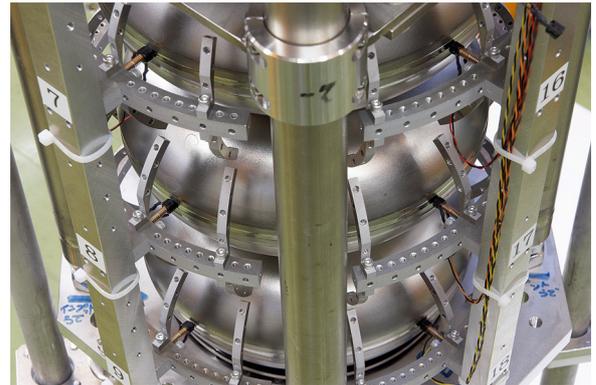


図4: 新空洞診断システム“Fish-Bone”。

パイロットテストに用いる空洞はフェルミ研究所から送られてきたもので、STF棟の高圧水洗システム(High Pressure Rinsing)で内面を洗浄された状態から真空封じされて測定に臨んだ(電解研磨は行っていない)。この空洞はフェルミ研究所でも数回の測定が行われており、その際に3セル目に発熱が在ることが確認されている。したがって、今回の測定でもその周辺に数個の抵抗を取り付けて観測すること

にした。空洞のコンディショニングの際にHOMカプラでしばしばマルチパクタによる発熱が観測されるので、そこにも2個ずつ取り付けた。

一方、field emissionの有無を観測するためにPIN Diodeが空洞両側のビームパイプに取り付けられた。また、各セルのアイリス部にも取り付けられた。

クライオスタットの出口からデータロガーまでを繋ぐ信号線はノイズの影響を受けやすいので、シールドを巻いてノイズの低減に努めた。さらに、クライオスタットとデータロガーのグラウンドレベルを共通にすると信号レベルが安定することが判明したため、帯状のアース線でしっかりと連結された。

DAQシステムは、N.I.社製のデバイスを用い制御プログラムはLabVIEWを用いて書かれた。Sampling timeは0.1秒で、これは発熱の応答速度に比べると十分速く、発熱を見逃すことは無い。今のところ、カーボン抵抗とPIN Diodeの信号線のみ繋げているが、将来的にはRF信号や圧力・温度・流量などを含む全信号を繋いで統一的なDAQシステムにする予定である。

4. パイロット試験

パイロットテストは7月頭に行われた。主な目的は、ヘリウム回収ライン及び排気系が機能し2Kまでの減圧が行えるかどうか、RFの測定系が機能しているかどうか、データ収集系が機能しているかどうか、などである。液体ヘリウムは1,000ℓ デュワーを2つ用意して、トラブルなどで測定が遅延した場合でも対応できるようにした。

4.2Kまでの冷却は慎重に行われ、特に大きなトラブルも無く到達した。4.2KでRFによるハイパワーテストを行った後、減圧ポンプを用いて2Kまでの減圧を行った。減圧も順調に行われ、2時間程度で超流動状態に到達した。通常、2Kのハイパワーテストは $3\pi/9$ から π モードまでのパスバンドを測定するが、今回はパイロットテストのため π モードのみ測定した。ハイパワーテストでは、途中で放射線量が一気に増加して激しいfield emissionに見舞われたが、10.2MV/mで一度クエンチを起こした後、放射線は全く出てこなくなった(図5)。クエンチの際にプロセスされたようである。液体ヘリウムの消費が増えるとクライオスタット内の圧力が上昇してくるた

Radiation Level in the V.T. for AES#001 (2008/07/05)

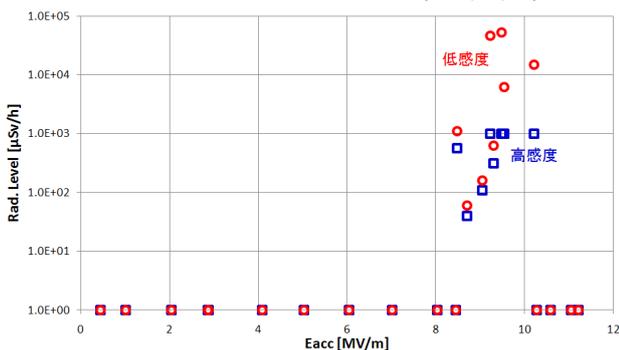


図5: フィールドと放射線量の相関。

め、ハイパワーの投入は慎重に行われた。また、STF棟の回収ラインの出口に流量計が取り付けられており、その数値からもヘリウムの消費が増えているかどうか判断できるようになった。最初のクエンチの後、ヘリウムの液面が40%を切り、空洞の先端部が液面から出てしまったようなので、2度目のハイパワー投入は11.2MV/mまでで止めて測定を終了した(図6)。

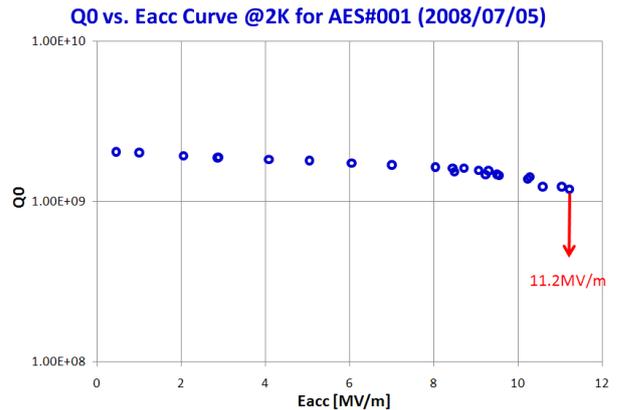


図6: Q_0 vs. E_{acc} カurve @2K。

一方、測定の間隔を縫ってクライオスタットの侵入熱測定も行われた。これはハイパワー投入が無い状態での液面の低下時間を測定することで行われる。簡単のためにクライオスタットをシリンダー構造であると見なすと、定常状態(液面で80%辺り)での侵入熱は10.3Wであると見積もられた。このクライオスタットにはサーマルアンカーはあるが、それを窒素冷却することは行っておらず、設計段階でおよそ10W程度の熱侵入があると予想されていたため、設計値通りの結果であったと言える。

カーボン抵抗による発熱の探索では、特に有意な発熱は見つからなかった。フェルミ研究所で観測されていた3セルにも有意な信号は見つからなかった。フェルミ研究所での観測では、15MV/m辺りで発熱していたようなので、今回の最大到達フィールド(11.2MV/m)では発熱しなかった可能性がある。一方、PIN Diodeの方はfield emissionによる信号を検出し、特に空洞上方への放射が激しいことが判明した。

測定終了後に空洞は、最初は自然昇温で、後にヒーターを用いて常温まで戻された。そして、先週クライオスタットから引き上げられてスタンドに戻された。

5. まとめと今後の予定

新縦測定設備はほぼ予定通り完成し、最初のパイロットテストも概ね問題なく終了した。これにより縦測定はいつでも行える状況になったと言える。

今後は、今月末にこの空洞をもう一度高圧水洗し、再測定を行う。その後、電解研磨をかけて洗浄し、再々測定を行う。その後は、新たに製作されたSTFベースライン空洞の5号機と6号機の測定を年内に行

う予定である。

謝辞

今回のパイロットテストで用いられた9セル空洞を快く貸して下さったフェルミ研究所のC. Ginsburg氏に謝意を示したい。また、測定前に現場での様々な準備を行って下さったケーバックの岡田照和・飯竹真之・村崎三城の3氏に感謝したい。DAQプログラムの開発に協力して下さったN. I. の石塚之教氏にも感謝したい。

参考文献

- [1] Y. Yamamoto, et al., TESLA Technology Collaboration Meeting, DESY, Hamburg, Germany, Jan. 14-17, 2008, URL: <https://indico.desy.de/conferenceOtherViews.py?view=standard&confId=401>.
- [2] Y. Yamamoto, et al., EPAC'08, MOPP044, Genoa, Italy, Jun. 23-27, 2008.